МАССОВАЯ **РАДИО** – БИБЛИОТЕКА

В. Г. КОРОЛЬКОВ

МАГНИТНАЯ ЗАПИСЬ ЗВУКА



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА
ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

Выпуск 39

В. Г. КОРОЛЬКОВ

МАГНИТНАЯ ЗАПИСЬ ЗВУКА

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1949 ЛЕНИНГРАД

Книга предназначается для квалифицированных радиолюбителей, осваивающих аппаратуру магнитной звукозаписи. Не претендуя на глубину и полноту изложения всех вопросов, связанных с этим видом звукозаписи, книга дает начальное представление о физических процессах и о современных видах звуконосителей и аппаратуры.

В книге изложены три основные части процесса магнитной звукозаписи: подготовка звуконосителя к записи (стирание), запись и воспроизведение; виды искажений и меры борьбы с ними; сплошные биметаллические и порошкообразные типы звуконосителей. В конце книги описана профессиональная установка магнитной звукозаписи.

СОДЕРЖАНИЕ

Редактор *И. С. Рабинович* Техн. ред. *Г. Б. Фомилиант*

Сдано в набор 19/IV 1949 г. Подписано к печати 1/X 1949 г.
Объем [illegible],5 п. л. 5,5 уч.-изд. л. Тираж 15 000
А—13104 Бумага $84 \times 108^{1}/_{32}$ 40 000 тип. зн. в 1 п. л. Зак. 2139

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ВВЕДЕНИЕ

Магнитная запись звука находит за последние годы все более и более широкое применение. Аппараты магнитной записи, использующие особый звуконоситель, так называемую магнитную пленку, удачно сочетают в себе хорошее качество звучания с эксплоатационными удобствами. Благодаря этому подобные аппараты с успехом применяются теперь в ряде отраслей народного хозяйства.

Большой интерес представляет магнитная звукозапись и для радиолюбителей. Основную роль здесь играют сравнительная простота аппаратуры, возможность многократного использования магнитной пленки для записи, путем стирания с нее старой записи, и практически неограниченное число качественных воспроизведений.

На проводимых в последние годы Всесоюзных заочных выставках радиолюбительского творчества среди экспонатов было много аппаратов магнитной звукозаписи.

Наиболее удачные из этих конструкций описаны в отдельных выпусках массовой радиобиблиотеки.

Прежде чем достичь своего теперешнего высокого уровня развития, магнитная звукозапись прошла большой путь совершенствования аппаратуры, звуконосителя и разработки вопросов теории физических процессов, происходящих при записи и воспроизведении.

Большой вклад в эту работу внесли наши исследователи: В. Виторский, Е. Голдовский, Н. Мануилов, И. Рабинович, И. Горон. Глубокие теоретические исследования были сделаны в последние годы Д. Порто и Ф. Трахтенберг. Большое число конструкторов и инженеров разрабатывало и совершенствовало на наших заводах аппаратуру.

К сожалению, многие из этих работ еще не опубликованы в печати. Небольшое количество напечатанных статей посвящено или отдельным конструкциям аппаратов магнитной звукозаписи, или является краткими обзорами.

С целью помочь начинающим работать с магнитофонами автором была сделана попытка в популярной форме систематизировать изложение ряда вопросов, касающихся этой отрасли техники.

Насколько известно автору, такая попытка производится впервые, поэтому естественно, что в изложении имеются недостатки, указание которых автор примет с благодарностью. Все замечания по книге просьба присылать по адресу: Москва, Шлюзовая набережная, 10 — Госэнергоиздат.

Глава первая

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ ЗВУКА

Во всех существующих системах звукозаписи принцип действия, по существу, один и тот же: записанное звуковое событие сохраняется в форме остаточной деформации физического состояния звуконосителя. Таким физическим состоянием могут быть, например, форма звуконосителя (запись резанием и давлением), прозрачность его (оптическая запись на кинопленку), окрашенность (запись в системе «говорящей бумаги»). Можно предложить и другие системы, основанные на изменениях других форм физического состояния.

Существует несколько общих требований, которые предъявляются к звукозаписывающим установкам независимо от их систем и по выполнению которых можно оценивать работу этих установок. Главные из этих требований следующие:

1. Процесс звукозаписи должен вносить минимальные искажения, т. е. обеспечивать высокое качество звука при воспроизведении.

2. Применяемый звуконоситель должен хорошо и удобно храниться, а также допускать возможно большее число качественных воспроизведений.

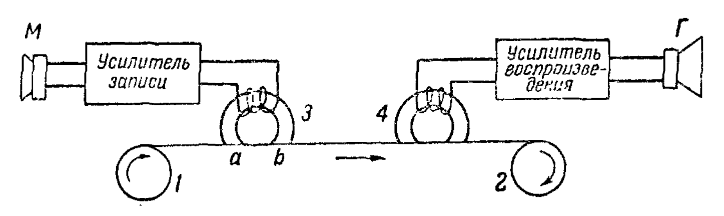
3. Стоимость записи, определяемая стоимостью аппаратуры, технологии и звуконосителя, должна быть невысокой.

4. Технологический процесс записи и воспроизведения должен быть простым.

Рассматривая магнитную систему звукозаписи, мы, очевидно, также должны подойти к ней с точки зрения вышеуказанных требований.

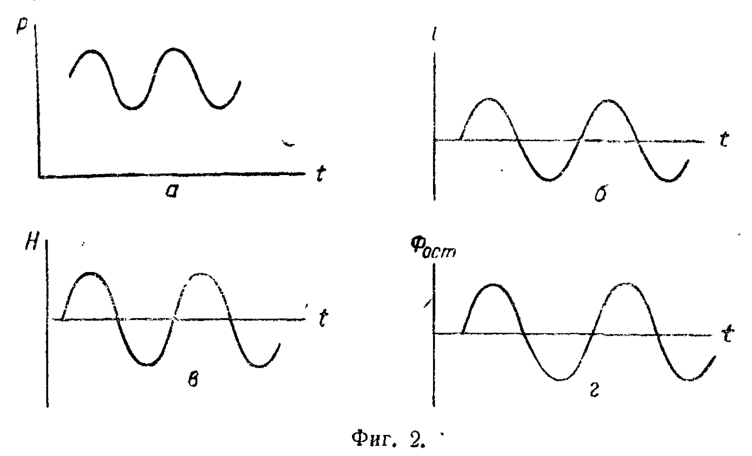
В магнитной звукозаписи изменяемой формой физического состояния звуконосителя является его намагниченность. Само собой разумеется, что звуконоситель должен обладать хорошей способностью намагничиваться, т. е. должен быть сделан из ферромагнитного материала.

Для пояснения принципа действия обратимся к фиг. 1. Ферромагнитный звуконоситель (например, стальная проволока) при помощи ходового механизма перематывается с постоянной линейной скоростью с 1-й бобины на 2-ю. При



Фиг. 1.

своем движении звуконоситель соприкасается с двумя кольцеобразными электромагнитами [или, как их называют, головками записи (*3*) и воспроизведения (*4*)]. Обмотка записывающей головки питается усиленными микрофонными токами, и напряженность магнитного поля, действующего в зазоре *ab* головки на звуконоситель, изменяется по тому же закону, что и звуковое давление на мембрану микрофона.



Фиг. 2.

Разберем простейший случай — запись синусоидального тона (фиг. 2). На фиг. 2а изображена кривая изменения давления перед микрофоном. Если считать, что усилитель не вносит нелинейных искажений и в процессе записи сердечник записывающей головки далек от насыщения, то форма тока,

протекающего через обмотку записывающей головки, будет также синусоидальной (фиг. 2б). Аналогичной по форме будет и напряженность поля в зазоре головки (фиг. 2в). Если принять меры к тому, чтобы звуконоситель был предварительно (до записи) размагничен, то отдельные участки его, попадая в зазоре *ab* под действие магнитного поля, будут намагничиваться. Направление и степень намагничивания определяются силой и направлением поля, существовавшего в зазоре в момент прохождения его данным участком.

Таким образом, звуконоситель, прошедший записывающую головку, намагничен переменно по силе и по направлению. На фиг. 2г показано распределение остаточного магнитного потока в звуконосителе по его длине после записи. В паузах звучания этот поток равен 0, так как звуконоситель перед записью размагничивается. Следует оговориться, что фиг. 2г не учитывает неизбежных искажений, сопутствующих такому намагничиванию звуконосителя. В действительности форма кривой остаточного магнитного потока будет несколько отличаться от синусоидальной, однако для первого представления этим можно пренебречь. Вопрос об искажениях при магнитной записи мы рассмотрим дальше.

Для воспроизведения записанного звука служит второй электромагнит (4) — так называемая воспроизводящая головка. Переменно-намагниченный после записи звуконоситель, соприкасаясь с сердечником воспроизводящей головки, создает в нем переменный магнитный поток, вследствие чего в обмотке головки возникает электродвижущая сила. Частота э. д. с. равна частоте магнитного потока в сердечнике воспроизводящей головки, а последняя, очевидно, соответствует частоте записанного тона. Разумеется, скорость движения звуконосителя при воспроизведении должна точно соответствовать скорости при записи, в противном случае при воспроизведении частота будет либо ниже той, которая была записана, либо выше ее.

После соответствующего усиления можно прослушивать записанное на громкоговоритель. Для повторного воспроизведения записи надо перемотать звуконоситель на левую бобину и вновь начать протягивание его мимо воспроизводящей головки в прежнем направлении. Чтобы избежать при этом возможных воздействий на запись со стороны записывающей головки, ее следует при воспроизведении или отключать от выхода усилителя записи, или механически отводить в сторону от звуконосителя.

Таков принцип магнитной записи и воспроизведения звука.

Оценивая магнитный способ по тем основным четырем показателям, которые были вначале названы общими для всех систем, можно сказать следующее:

1. По качеству записи магнитная система может соответствовать высшему классу современных систем звукозаписи.

2. Хранение магнитных записей достаточно удобно, а число качественных воспроизведений практически не ограничено.

3. Стоимость записи весьма невысока.

4. Технология магнитной записи проста и удобна. Прослушивание записанного может вестись не только сейчас же после записи, но даже во время самой записи, что позволяет «на ходу» корректировать ее. Управление аппаратурой очень простое. Звуконоситель в большинстве случаев допускает соединение отдельных кусков, что используется для монтажей записи, для удаления дефектов из записи и т. д. Возможно повторно, путем, например, размагничивания, использовать звуконоситель, когда запись, ранее сделанная на нем, становится ненужной.

Перечисленные преимущества магнитной звукозаписи вызвали значительный рост применения ее за последние годы.

Основные процессы магнитной звукозаписи

Общий процесс магнитной звукозаписи может быть разделен на следующие три основные части:

1. Подготовка звуконосителя к записи.
2. Запись.
3. Воспроизведение.

Подготовка звуконосителя к записи предусматривает некоторую магнитную обработку его, создающую такое состояние звуконосителя, при котором процесс записи протекает наиболее эффективно. В рассмотренной выше принципиальной схеме магнитной звукозаписи такой подготовкой служило размагничивание звуконосителя. Характер подготовки звуконосителя к записи зависит от режима записи. Для разных режимов записи требуется различная подготовка.

Второе назначение подготовки звуконосителя к записи состоит в том, что со звуконосителя (если он не новый) удаляются следы ранее сделанной записи. Возможность удалить со звуконосителя ненужную запись и повторно использовать звуконоситель является большим преимуществом магнитной

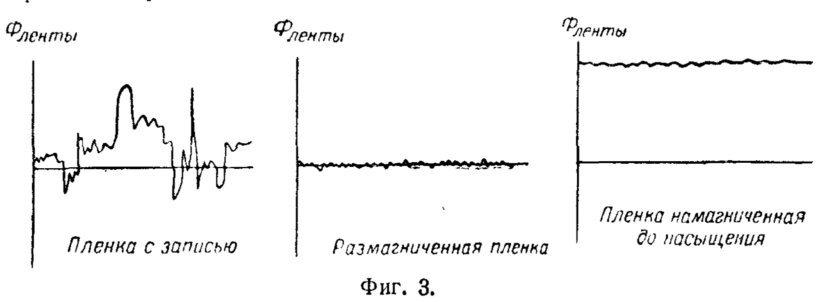
системы. Процесс удаления старой записи и подготовки звуконосителя к новой называют стиранием.

Процесс записи является основным звеном, определяющим качество записи. Выбор режима записи всегда производится из расчета получения возможно лучших качественных результатов.

Так как все записи делаются в конечном счете для их воспроизведения, то процесс воспроизведения является завершающим в общем процессе магнитной звукозаписи.

Подготовка звуконосителя к записи (стирание)

С целью стирания ранее существовавшей на звуконосителе записи можно применить два способа: 1) Размагнитить звуконоситель, т. е. сделать его намагниченность равной нулю по всей длине. 2) Намагнитить звуконоситель до насыщения, т. е. перевести его из состояния переменной намагниченности по длине, имеющей место при наличии записи, в состояние однородной предельной намагниченности на всех участках.



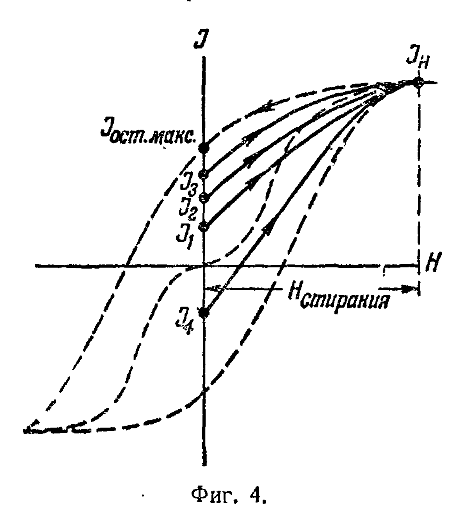
Фиг. 3.

Графически оба способа показаны на фиг. 3. В обоих случаях при воспроизведении стертой пленки мы не обнаружим старой записи. В дальнейшем будет показано, что эти два способа подготовки звуконосителя не только обеспечивают стирание пленки, но и подготавливают ее наиболее эффективно для записи.

Как практически осуществить тот и другой способ?

Начнем с более простого второго способа. Для его осуществления надо на некотором расстоянии перед записывающей головкой (считая по ходу пленки) расположить электромагнит, питаемый постоянным током (так называемую стирающую головку). Звуконоситель должен соприкасаться со сти-

рающей головкой так же, как и с записывающей и воспроизводящей. Тогда при движении звуконосителя отдельные участки его будут последовательно попадать в сильное постоянное по направлению магнитное поле, существующее в зазоре стирающей головки. Перед зазором и после зазора поле ослабевает до нуля.



Фиг. 4.

Если до стирания отдельные участки звуконосителя с записью были намагничены по-разному и их магнитные состояния (величина остаточного намагничивания) изображались точками на оси ординат кривой намагничивания (см. фиг. 4) I_1, I_2, I_3, I_4, то под действием стирающего поля с напряженностью $H_{стирания}$ рабочие точки переместятся в начале в область насыщения, пройдя каждая свой путь I_1—$I_н$, I_2—$I_н$ и т. д., и затем по выходе из области воздействия стирающей головки придут в точку $I_{ост.\ макс}$, соответствующую наибольшей остаточной намагниченности звуконосителя. Графически протекание процесса стирания при движении звуконосителя показано на фиг. 5.

Для достижения полного стирания и приведения звуконосителя в однородное магнитное состояние необходимо так выбрать данные и режим стирающей головки, чтобы поле в зазоре обеспечивало насыщение звуконосителя.

Напряженность поля в зазоре стирающей головки может быть примерно рассчитана по следующей формуле:

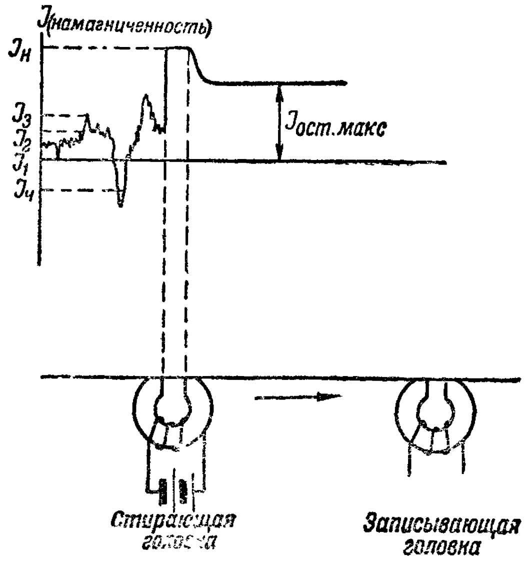
$$H = \frac{0{,}4\pi in}{l}.$$

Здесь H — напряженность в эрстедах;
i — сила тока через обмотку головки в амперах;
n — количество витков обмотки;
l — длина рабочего зазора в сантиметрах.

Данная формула предполагает, что сердечник стирающей головки сделан из материала с большой магнитной прони-

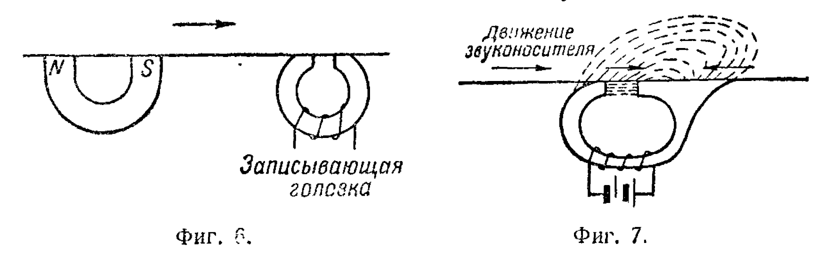
цаемостью, порядка $\mu = 5\,000 \div 10\,000$, например, из пермаллоя.

Необходимое значение *H* для насыщения звуконосителя зависит от типа последнего. Для порошкообразных носителей



Фиг. 5.

это примерно 400 эрстед, для обыкновенной стальной проволоки 100 эрстед. Отсюда можно вычислить данные стирающей головки. Стирающая головка может быть с успехом заменена по-



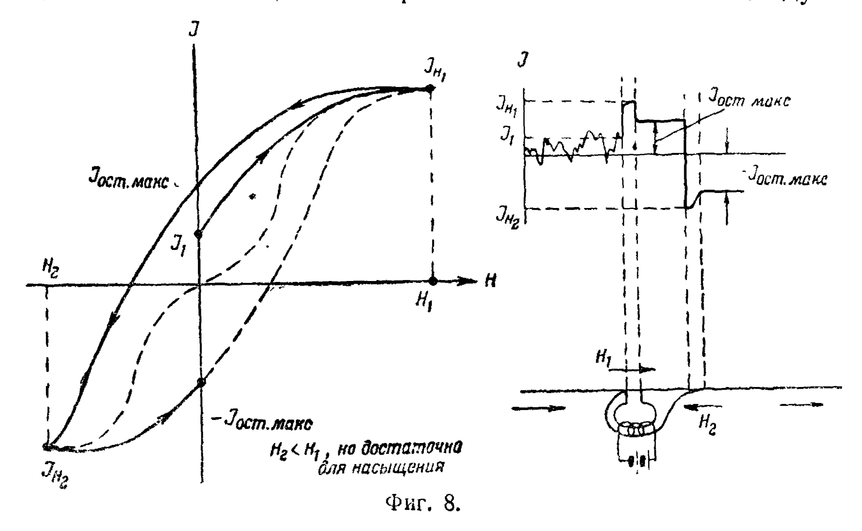
Фиг. 6.

Фиг. 7.

стоянным магнитом надлежащей силы. Устанавливается он также перед записывающей головкой (фиг. 6). Такая замена имеет смысл в портативной передвижной аппаратуре, где стирающая головка неудобна тем, что для нее нужен источник

питания. Недостатком постоянного магнита, по сравнению со стирающей головкой, является меньшая стабильность режима стирания ввиду того, что сам по себе постоянный магнит не стабилен. От случайных сотрясений он может частично потерять намагниченность. Там, где все же признано целесообразным поставить для стирания постоянный магнит, следует после работы замыкать его полюса магнитной перемычкой, например толстым стальным бруском. В замкнутом виде магнит меньше подвержен внешним влияниям.

Независимо от того, применена стирающая головка или постоянный магнит, в аппарате магнитной записи следует

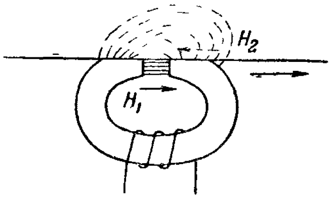


Фиг. 8.

предусмотреть устранение влияния стирающего устройства на звуконоситель при воспроизведении записи. В противном случае запись будет стерта, и мы ничего не услышим.

Имеется еще один способ подготовки звуконосителя путем насыщения. Если применить стирающую головку, у которой один полюс (тот, с которого звуконоситель сбегает при своем движении вперед) расширен (фиг. 7), то поле стирающей головки будет действовать на звуконоситель дважды: в рабочем зазоре головки и при сбегании звуконосителя с расширенного полюса. Дело в том, что лишь часть (хотя и бо́льшая) потока, исходящего из левого полюса, замыкается через рабочий зазор и входит в правый полюс. Другая часть замыкается по воздушному пути, показанному на фиг. 7 пунктиром, и вхо-

дит в правый полюс с другой стороны. Здесь и возникает второе воздействие на звуконоситель. По направлению силовых линий нетрудно проследить, что поле в рабочем зазоре и поле на границе широкого полюса имеют противоположные направления, следовательно, при прохождении через такую стирающую головку звуконоситель намагничивается дважды в различных направлениях. При надлежащем количестве ампервитков обмотки оба эти поля могут стать достаточными для доведения звуконосителя до насыщения. Такое двойное стирание имеет то преимущество, что лучше устраняет, как показывает практика, следы старой записи, даже самые ее громкие места. Стирание получается более «чистым». Протекание процесса «двойного» стирания показано графически на фиг. 8, где изображено как намагничивание отдельного участка звуконосителя, так и магнитное состояние звуконосителя, движущегося мимо стирающей головки.



Фиг. 9.

Следует отметить, что даже если не делать второй полюс расширенным, всегда имеет место подобное „двойное" воздействие стирающей головки, так как некоторый поток рассеяния существует и при обычной кольцеобразной головке (фиг. 9). Однако, в силу того, что этот поток незначителен по своей величине, второе намагничивание не доводит звуконоситель до насыщения и не вызывает улучшения качества стирания. Действие поля рассеяния сводится к тому, что остаточная намагниченность звуконосителя, покинувшего стирающую головку, становится меньшей $I_{ост.макс}$, каким оно было бы, если бы не указанное влияние. Это пояснено графически на фиг. 10.

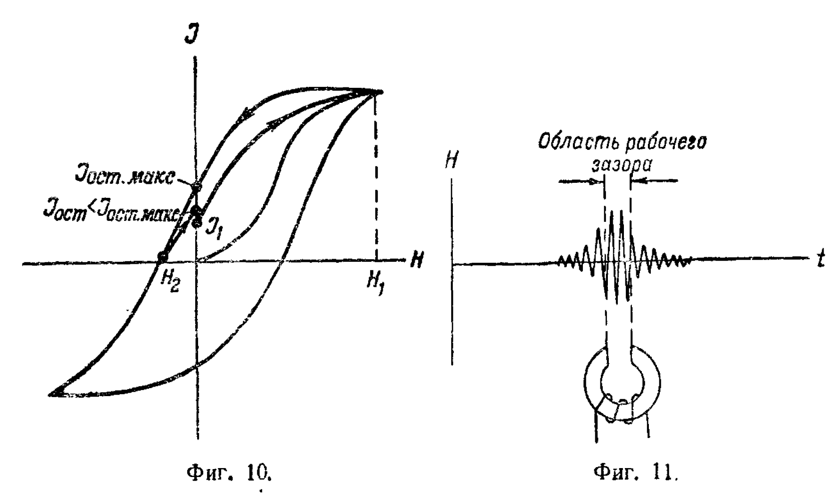
В результате все участки звуконосителя будут намагничены не до величины $I_{ост.макс}$, а до $I_{ост} < I_{ост.макс}$.

Переходим к другому способу подготовки звуконосителя — путем его размагничивания.

Этот способ состоит в том, что через обмотку стирающей головки пропускают переменный ток. Тогда звуконоситель, проходя стирающую головку, попадает в переменное по величине и направлению магнитное поле. Амплитуда этого поля максимальна в самом рабочем зазоре и плавно спадает по

обе его стороны. Таким образом, если выделить для рассмотрения некоторый малый участок звуконосителя и проследить, какое магнитное поле действовало на него при прохождении мимо стирающей головки, мы придем к результату, графически изображенному на фиг. 11. Как же подействует такое поле на звуконоситель?

Если сила его достаточно велика для того, чтобы в рабочем зазоре доводить звуконоситель до насыщения, попеременно то в одну, то в другую сторону, то по выходе из зазо-



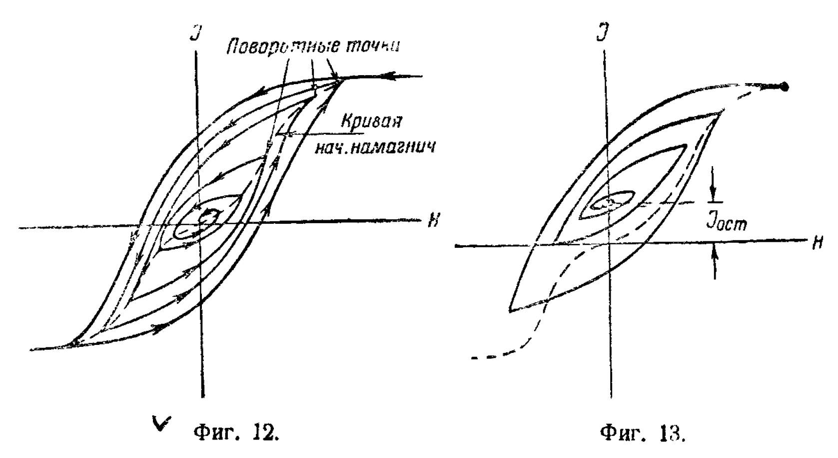
Фиг. 10.

Фиг. 11.

ра, когда звуконоситель попадает в постепенно ослабевающее переменное поле, процесс перемагничивания будет следовать по постепенно сужающимся петлям гистерезиса, стягиваясь в начало координат, т. е. приводя в конечном счете звуконоситель в размагниченное состояние (фиг. 12). Однако, не всегда уменьшающиеся гистерезисные петли стянутся к началу координат. Если амплитуда поля убывает с каждым периодом на значительную величину, то в конце процесса звуконоситель окажется неразмагниченным, с остаточной намагниченностью $I_{ост}$ (фиг. 13). Требуемое условие заключается, очевидно, в том, что с каждым последующим периодом магнитного поля амплитуда его должна уменьшаться на возможно меньшую величину. Тогда все поворотные точки кривой намагничивания (фиг. 12) расположатся на кривой начального намагничивания и петли стянутся в начало координат.

Для выполнения этого условия необходимо определенное соотношение между периодом тока, питающего стирающую головку, скоростью движения звуконосителя и крутизной спадания поля вне рабочего зазора. Очевидно, чем больше скорость, тем выше должна быть частота тока. Кроме того, чем круче спадает поле, тем также требуется более высокая частота.

Практически хорошее стирание получается, когда за время одного периода амплитуда магнитного поля изменяется не более чем на 1%. Для достижения этого при существующих



Фиг. 12. Фиг. 13.

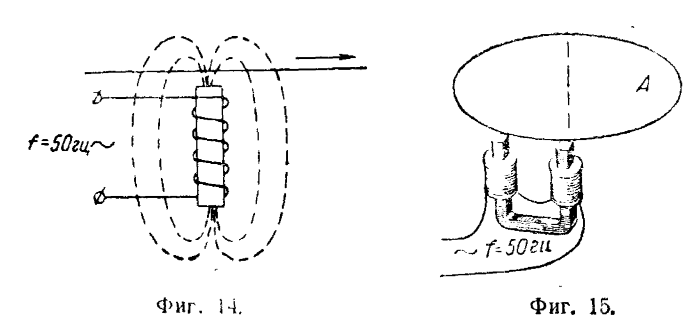
стандартных стирающих головках достаточна частота в 40 *кгц* при скорости 77 *см/сек*. При скоростях бóльших или меньших нужна соответственно бóльшая или меньшая частота тока стирания, но обязательно лежащая в диапазоне сверхзвуковых частот. Таким образом, для хорошего размагничивания звуконосителя поле должно быть достаточно сильным, чтобы доводить его в рабочем зазоре до насыщения, и достаточно медленно убывающим по амплитуде после выхода из рабочего зазора.

Недостатком рассмотренного варианта стирания является необходимость генератора в. ч. для питания стирающей головки. Частота его, как указывалось, равна 40 *кгц* при скорости 77 *см/сек* и пропорциональна последней. Попробуем подсчитать, нельзя ли за счет уменьшения скорости движения ленты довести частоту до 50 *гц*, — тогда не потребовался бы специальный генератор, а стирающая головка питалась бы

прямо от осветительной сети переменного тока? Для этого нужна скорость:

$$\frac{v}{77}=\frac{50}{40\,000};\ v=0{,}1\ \textit{см/сек}\ \text{или}\ 6\ \textit{см/мин}.$$

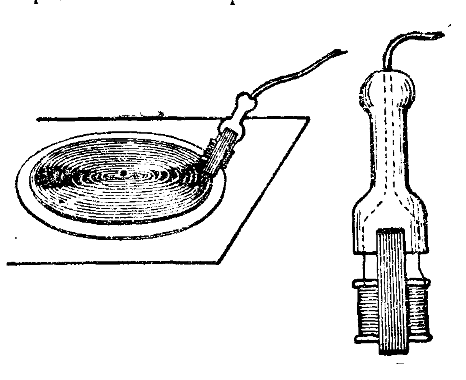
Понятно, что такая скорость непригодна для записи, и поэтому этот способ отпадает. Однако, есть другая возможность применить стирающее поле частоты 50 *гц*. Попробуем уменьшить крутизну спадания поля — сделать поле медленно убывающим от области наибольшей интенсивности. Тогда надо отказаться от кольцеобразной стирающей головки, поскольку она дает относительно сосредоточенное поле, и перейти к конструкции электромагнита с незамкнутым магнитным сердечником (фиг. 14). С таким электромагнитом удовлетворительные результаты получаются уже на скорости до 15 *см/сек*.



Фиг. 14. Фиг. 15.

Поскольку такая скорость все же мала для записи, а производить стирание специально до записи на пониженной скорости нерационально, было предложено воздействовать полем частоты 50 *гц* не на отдельный участок звуконосителя, как это показано на фиг. 14, а на весь рулон пленки. Тогда весь звуконоситель одновременно размагничивается и на всю операцию потребно не более 10 сек. Эту операцию можно производить на установке, изображенной на фиг. 15. Текстолитовый диск *А* свободно вращается от руки над мощным электромагнитом с незамкнутым сердечником. Рулон звуконосителя располагается на диске и поворачивается несколько раз так, чтобы все части рулона прошли в магнитном поле рассеяния электромагнита; после этого рулон снимается с диска и не слишком быстро (2—3 сек.) относится в сторону. Электромагнит должен быть достаточно мощным, потребляя из сети примерно 1,5—2 *ква*.

В любительских условиях, когда быстрота процесса размагничивания не играет решающей роли, лучше применять более портативную установку, показанную на фиг. 16. Рулон звуконосителя укрепляется на медленно вращающемся диске (например, на планшайбе патефона). На расстоянии 5—10 *мм* к нему подносится электромагнит с разомкнутым сердечником, который перемещается в радиальном направлении над диском. Весь процесс занимает 10—15 сек., после чего электромагнит отводится в сторону, а размагниченный звуконоситель снимается с диска. Сердечник электромагнита может быть набран из полосок трансформаторного железа. Сечение сердечника 4—5 *см*². Катушка должна иметь примерно 600—800 витков провода 0,5—0,8 *мм*. При работе с электромагнитом следует соблюдать следующее правило: включение электромагнита должно производиться вдали от звуконосителя, так как в противном случае импульс магнитного поля, образующийся при включении, сильно намагнитит звуконоситель, и его будет трудно размагнитить. Выключение электромагнита следует также производить вдали от звуконосителя, чтобы обеспечить плавное уменьшение поля при удалении электромагнита. Если обнаружено, что на размагниченной пленке прослушивается местами старая запись, надо усилить поле стирающего электромагнита.



Фиг. 16.

Предварительное размагничивание полем частоты 50 *гц*, в силу своей простоты, может рекомендоваться для передвижных звукозаписывающих устройств.

Итак, разобрано два способа подготовки звуконосителя к записи: при первом — звуконоситель приводится в равномерно намагниченное состояние, при втором — в размагниченное состояние.

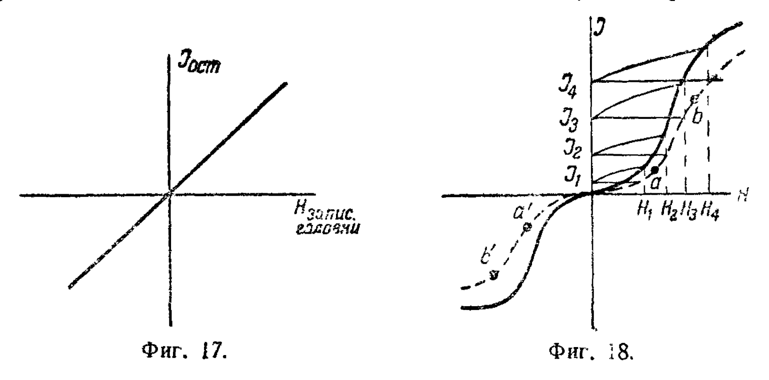
Процесс записи

Основным требованием при выборе режима записи является получение минимальных нелинейных искажений, поскольку основная часть этих искажений возникает именно в про-

цессе записи. Если сама запись будет вносить малые нелинейные искажения, то и весь тракт записи-воспроизведения будет благополучен в этом отношении.

Другим требованием является получение наименьшего шума. Выполнение его не всегда совпадает с выполнением первого требования. Нахождение компромиссного решения является второй задачей выбора режима записи.

Частотные искажения при записи обычно мало зависят от самого режима и не являются поэтому фактором, определяющем выбор режима. Поэтому при дальнейшем разборе мы будем исходить в основном из выполнения первого требования



Фиг. 17. Фиг. 18.

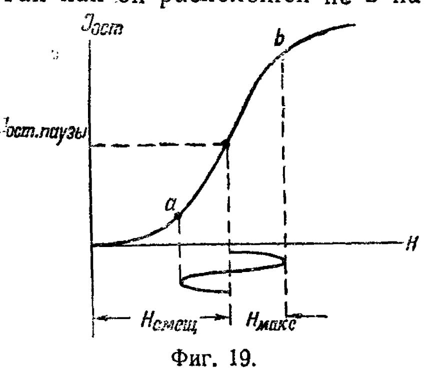
и компромиссного выполнения второго. Нелинейные искажения будут, очевидно, минимальными в том случае, если остаточная намагниченность звуконосителя будет пропорциональна напряженности поля в рабочем зазоре записывающей головки.

Графически это требование сводится к получению прямолинейной зависимости между указанными величинами (фиг. 17), т. е. получению прямолинейной характеристики остаточного намагничивания.

Посмотрим, как будет обстоять дело в каком-либо простейшем случае. Предположим, что в результате подготовки к записи звуконоситель размагничен; тогда процесс намагничивания его в записывающей головке будет протекать по кривой начального намагничивания (фиг. 18).

Для построения характеристики остаточного намагничивания надо задаться рядом значений поля H_1, H_2, H_3, H_4,... и найти соответствующие им значения остаточной намагниченности I_1, I_2, I_3, I_4; тогда по ряду точек можно построить и ис-

комую кривую $I_{ост} = f(H)$, каковая и показана на той же фиг. 18 пунктирной линией. Из рассмотрения ее видно, что мы имеем дело с весьма искривленной характеристикой, имеющей, как и кривая начального намагничивания, изгиб в средней части, две области насыщения и два сравнительно прямолинейных участка ab и $a'b'$. Для работы можно использовать лишь один из этих участков. Так как он расположен не в начале координат, то для того, чтобы переместиться на него, надо дать, подобно тому, как это делается в усилительных лампах, некоторое начальное смещение рабочей точки путем создания в зазоре постоянного магнитного поля. Величина его должна быть подобрана такой, чтобы начальная рабочая точка приходилась на середине используемого прямолинейного участка. Направление поля роли не играет, так как в данном случае имеются два равноценных рабочих участка: ab и $a'b'$.

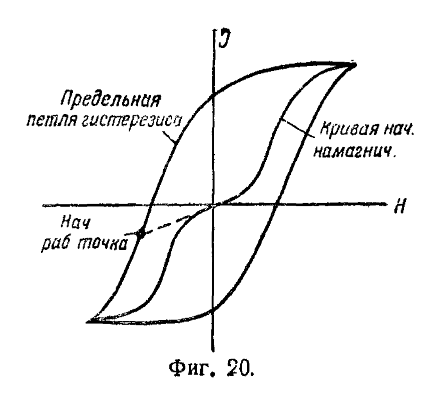


Фиг. 19.

Пусть выбор пал на участок ab. На фиг. 19 показан правильный выбор режима записи на этом участке. Амплитуда поля низкой частоты не должна превышать значения $H_{макс}$, так как в противном случае сильно возрастут нелинейные искажения. Укажем попутно, что работа на прямолинейном участке не только обеспечивает малые искажения, но и соответствует наибольшей чувствительности установки: именно на этом участке, имеющем наибольшую крутизну, намагничивание звуконосителя будет происходить сильнее всего и запись будет более «громкой». Для создания смещающего поля, или, как его называют, поля подмагничивания звуконосителя, необходимо через обмотку записывающей головки пропускать кроме тока звуковой частоты еще и постоянный ток. Правильное значение этого тока подмагничивания (смещения) следует установить экспериментально, ведя запись чистого тона небольшой амплитуды и изменяя постепенно ток подмагничивания. При оптимальном его значении «отдача» звуконосителя, т. е. выходное напряжение усилителя воспроизведения, будет наибольшей.

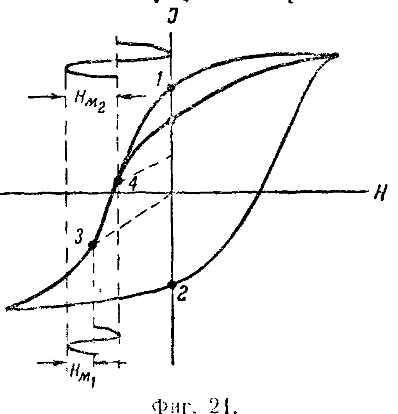
Рассмотренная запись на размагниченном звуконосителе

обладает малым отношением уровня полезного сигнала к уровню шума звуконосителя. Это — ее большой недостаток. Происходит он по двум причинам: во-первых, относительно линейный участок характеристики начального намагничивания имеет малую длину, что ограничивает допустимую амплитуду полезного сигнала. Во-вторых, в отсутствии записи, на паузе, звуконоситель обладает достаточно большой намагниченностью (фиг. 19) $I_{ост}$ паузы, создаваемой током подмагничивания. Так как эта намагниченность из-за неоднородности звуконосителя непостоянна, она создает при воспроизведении (в обмотке воспроизводящей головки) заметную шумовую э. д. с.



Фиг. 20.

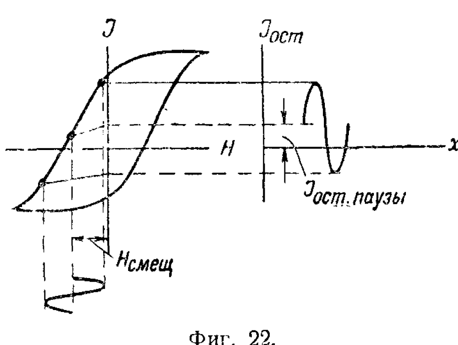
Из сопоставления формы кривой начального намагничивания и предельной петли гистерезиса (фиг. 20) можно заметить, что боковые стороны последней представляет собой куда более благоприятные участки, поскольку у них протяженность линейных частей почти в 2 раза больше. Одно это сулит возможность более глубокой модуляции звуконосителя и, как результат этого, повышение получаемого с него полезного сигнала. Кроме того, если расположить начальную рабочую точку так, как показано на фиг. 20, то на паузах звуконоситель будет размагничен, в связи с чем шум звуконосителя должен снизиться.



Фиг. 21.

Как же практически осуществить такой режим? Для этого надо применить первый способ подготовки звуконосителя к записи — путем доведения его до равномерно намагниченного состояния. При этом, как говорилось, благодаря влиянию потока рассеяния стирающей головки намагниченность получается меньше максимально воз-

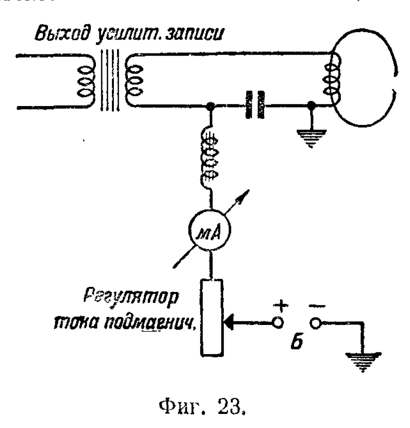
можной (фиг. 10). Из-за этого дальнейшая характеристика намагничивания принимает вид менее благоприятный для записи (фиг. 21), так как линейный участок у нее меньше. Чтобы избежать этого, нужно применить или стирающую головку с одним расширенным полюсом, у которой поле рассеяния вторично насыщает звуконоситель, или кольцеобразную головку с узкой щелью и малым потоком рассеяния. В данном случае следует стремиться к наиболее выгодному положению рабочих точек после подготовки звуконосителя — на предельной петле гистерезиса (точки *1* или *2* на фиг. 21).



Фиг. 22.

В записывающей головке нужно создать, кроме низкочастотного, постоянное поле подмагничивания звуконосителя, смещающее должным образом рабочую точку.

Как уже упоминалось, выгодной с точки зрения шумов является начальная точка *3*, но так как она находится не на середине линейного участка предельной петли, то имеется проигрыш в максимально возможной амплитуде модуляции звуконосителя (величина H_{m1}). Выбор начальной точки *4* дает, наоборот, возможность более глубокой модуляции, но создает предпосылки для шума, так как в паузах носитель оказывается намагниченным. Окончательный выбор производится компромиссным путем, причем во внимание принимается, с одной стороны, клирфактор записи, с другой — отношение полезного сигнала к шуму.

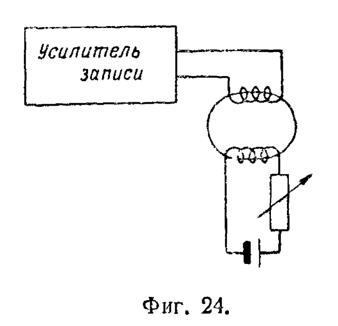


Фиг. 23.

Описанный режим записи носит название режима постоян-

ного тока. Графически процессы намагничивания, происходящие при нем, изображены на фиг. 22.

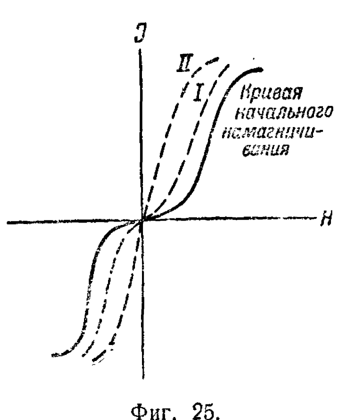
При питании головки записи одновременно постоянным током смещения и током звуковой частоты необходимо разделить пути подведения этих токов к обмотке головки, применяя, например, схему фиг. 23. Можно также разделить обмотку записывающей головки на две части и через одну половину пропускать ток звуковой частоты, через вторую — ток смещения (фиг. 24).



Фиг. 24.

Выше был разобран процесс записи при смещении начальной рабочей точки постоянным током. Установлено, что при этом наивыгоднейшей формой подготовки звуконосителя к записи является доведение его до максимальной остаточной намагниченности, для чего следует применять стирающуюся головку с расширенным полюсом или нормальную кольцеобразную с малым зазором. Оптимальное значение тока подмагничивания определяется в простейшем случае на-слух, по наибольшему перекрытию шумов звуконосителя, при допустимых нелинейных искажениях.

Другим режимом записи является режим с применением высокочастотного (в. ч.) тока подмагничивания. Этот режим обеспечивает более высокие качественные показатели магнитной записи и представляет значительный интерес. Благодаря его применению магнитная запись выдвинулась на одно из первых мест по качеству среди других видов записи.



Фиг. 25.

Звуконоситель при этом режиме предварительно размагничивается стирающей головкой, питаемой током высокой частоты. Через обмотку записывающей головки пропускают, кроме тока звуковой частоты, также ток высокой частоты. Если бы не было тока высокой частоты, то процесс намагни-

чивания звуконосителя в головке записи шел бы по кривой начального намагничивания (фиг. 25), как указывалось выше. При этом возникали бы сильные нелинейные искажения. Благодаря действию высокочастотного поля подмагничивания происходит изменение формы кривой намагничивания. Она начинает выпрямляться (кривая *1*) и при некотором значении тока подмагничивания превращается в почти прямую линию (кривая *2*). В результате намагничивание звуконосителя под действием поля звуковой частоты будет протекать почти без нелинейных искажений.

Причины такого воздействия высокочастотного поля на кривую намагничивания достаточно сложны и до конца не изучены. Элементарно это может быть объяснено тем, что высокочастотное поле при достаточной своей величине преодолевает коэрцитивные силы, существующие в ферромагнитном звуконосителе, и тем самым устраняет «сцепление» между отдельными мельчайшими магнитными областями в нем. Вследствие этого происходящее одновременно воздействие поля низкой частоты создает почти строго пропорциональное изменение средней намагниченности звуконосителя, поскольку к этому, так сказать, «не встречается преград».

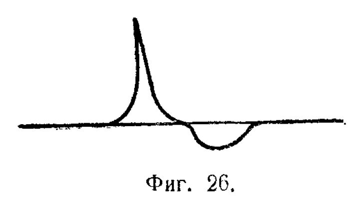
Амплитудная характеристика звуконосителя при применении высокочастотного подмагничивания (фиг. 27) имеет больший линейный участок, чем при режиме постоянного тока. Это позволяет глубже модулировать звуконоситель и получать бо́льшую величину полезного сигнала, что весьма благоприятно сказывается на перекрытии уровня шумов.

Вообще с точки зрения желательности получения минимального шума в паузе этот режим является весьма совершенным, так как предварительно размагниченный звуконоситель, проходя в паузе мимо записывающей головки, второй раз подвергается стиранию высокочастотным полем подмагничивания. В результате он так и остается размагниченным и не вызывает появления шума. Уменьшение шума звуконосителя позволяет расширить динамический диапазон записи, т. е. записывать наряду с громкими звуками и тихие, не боясь, что они «потонут» в шуме паузы.

Связанное с этим уменьшение уровня шумов всего тракта звукозаписи позволяет расширить полосу пропускания усилительных устройств и осуществить запись более высоких частот.

Питание записывающей головки высокой частоты удобнее всего осуществить от того же лампового генератора, от которого питается и стирающая головка. Генератор этот может

быть выполнен по различным схемам. Важнейшее требование к нему — это отсутствие модуляции его колебаний фоном переменного тока, так как в противном случае он будет записан на звуконосителе; далее существенна правильность формы высокочастотного колебания. Колебания, несимметричные относительно оси времени (фиг. 26), будут намагничивать в паузах звуконоситель и вызовут поэтому шум на записи.



Фиг. 26.

Проверить выполнение этих требований проще всего по осциллографу. Величина тока смещения, так же как и тока звуковой частоты в записывающей головке, зависит от конструкции последней. Соотношение между ними различно для различных звуконосителей. Для порошкообразного звуконосителя ток в. ч. должен быть примерно в 2 раза больше максимального значения тока звуковой частоты. Подробнее на выборе данных мы остановимся в следующих разделах.

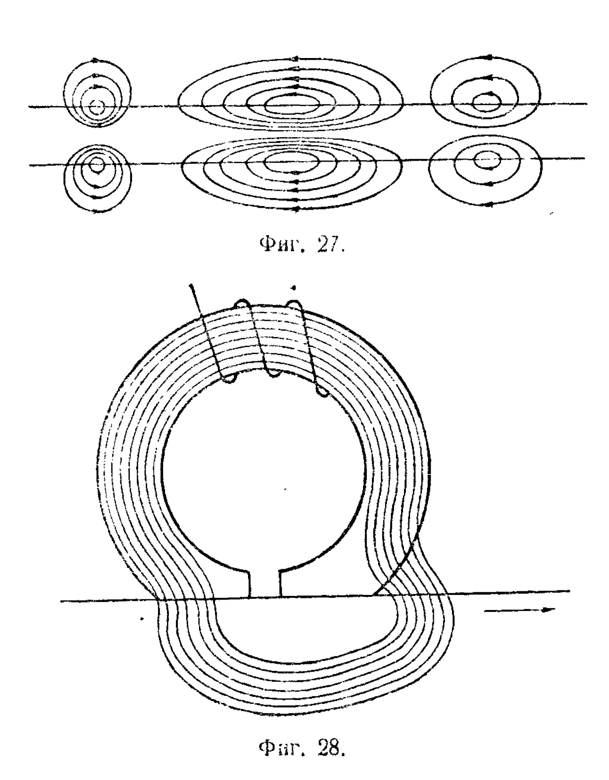
Частота высокочастотного тока смещения при скорости 77 *см/сек* должна быть не менее 40—60 *кгц*. При меньшей скорости частота может быть уменьшена, оставаясь обязательно в диапазоне сверхзвуковых частот.

Мы разобрали процесс записи при смещении рабочей точки полем тока высокой частоты. Установлено, что характерной особенностью данного режима является бесшумность пауз и в связи с этим возможность записи более широкой полосы, а также малые нелинейные искажения. Качество записи значительно выше, чем в случае смещения рабочей точки полем постоянного тока.

Процесс воспроизведения

После записи различные участки звуконосителя оказываются различно намагниченными как по силе, так и по направлению. Магнитные силовые линии этих отдельных участков, замыкаясь через окружающее звуконоситель пространство, образуют внешнее магнитное поле (фиг. 27).

Когда при воспроизведении звуконоситель, соприкасаясь с воспроизводящей головкой, двигается относительно ее, внешнее магнитное поле пронизывает сердечник головки (фиг. 28), и изменения силы этого поля обуславливают возникновение соответствующей э. д. с. в обмотке.



Фиг. 27.

Фиг. 28.

Искажения, возникающие в процессе воспроизведения, и меры борьбы с ними разбираются во 2-й главе. Пока лишь укажем, что в основном здесь приходится бороться с частотными искажениями и различного рода помехами, особенно заметными из-за того, что величина э. д. с., возникающей в обмотке воспроизводящей головки, обычно меньше 1 *мв*.

Глава вторая

ИСКАЖЕНИЯ ПРИ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ ЗВУКА

Как бы хорошо ни была продумана и выполнена аппаратура записи и воспроизведения звука, она все же будет вносить некоторые искажения в записываемый звук. Источником этих искажений является каждый из составных элементов аппаратуры: усилитель записи, записывающая головка, зву-

коноситель, ходовой механизм, воспроизводящая головка, усилитель воспроизведения.

В соответствии с принятой в электроакустике терминологией различают частотные искажения, нелинейные искажения и помехи за счет вносимых шумов. Эту классификацию можно применить и к анализу работы звукозаписывающей аппаратуры, но только дополнив ее специфическими для звукозаписи искажениями за счет неравномерности работы ходового механизма и помехами за счет взаимодействия близко расположенных участков звуконосителя (эффект «эхо»).

Задача конструктора и оператора заключается в сведении к минимуму всех указанных искажений. Это требует ясного представления о природе их, так как только зная причину явлений, можно управлять ими желательным образом.

Рассмотрим по очереди отдельные виды искажений.

Частотные искажения

Источники данных искажений, это — усилители, головки и звуконоситель. Для уменьшения искажений применяют обычный способ взаимной коррекции, когда искажения, вносимые одним звеном, компенсируются искажениями в других звеньях. Поскольку легко управляемыми звеньями здесь являются усилители, следует первоначально выяснить искажения в головках и звуконосителе, на величину которых значительно труднее влиять, с тем, чтобы суммарные искажения в них должным образом компенсировать в усилителях.

Искажения в головках вызваны конечной шириной рабочей щели. Последняя не может быть сделана меньше 15—25 μ по чисто производственным причинам. Кроме того, действующая ширина щели, или, как ее называют, «физическая ширина» щели, всегда больше геометрической из-за магнитного поля рассеяния.

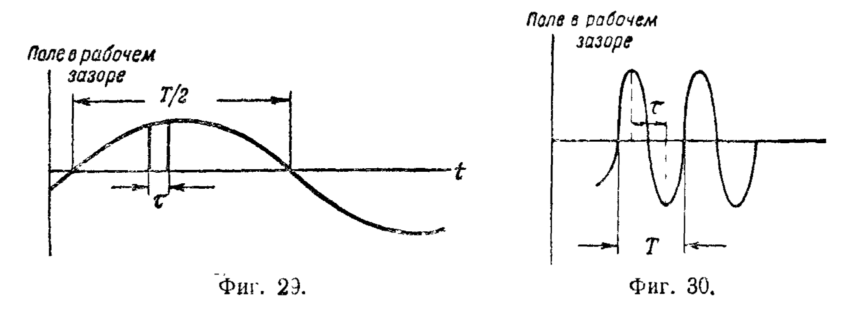
Все это приводит к тому, что каждый элемент звуконосителя, попадая при записи в поле щели записывающей головки, подвергается различному воздействию при записи низких и высоких звуковых частот; отсюда и возникают частотные искажения в записывающей головке, которые называют «щелевыми» искажениями записывающей головки. Причина щелевых искажений при записи заключается в следующем.

Если обозначить через l физическую ширину рабочей щели записывающей головки, а через v скорость звуконосителя, то

$$\tau = \frac{l}{v}$$

есть то время, в течение которого каждый элемент звуконосителя подвергается воздействию поля записи. Поскольку границы физической рабочей щели не очерчены строго, а размыты, так же как размыто поле рассеяния, определяющее собой эту щель, мы можем, естественно, лишь приближенно определять как l, так и τ, отбрасывая те области физической щели, где поле рассеяния слабо и его воздействием на звуконоситель можно пренебречь.

При записи низких и средних звуковых частот период записываемого колебания $T \gg \tau$, и мы можем считать, что за все время τ на звуконоситель действует примерно постоянное поле. Графически это показано на фиг. 29.



Фиг. 29. Фиг. 30.

В соответствии со значением этого поля и происходит намагничивание данного участка звуконосителя.

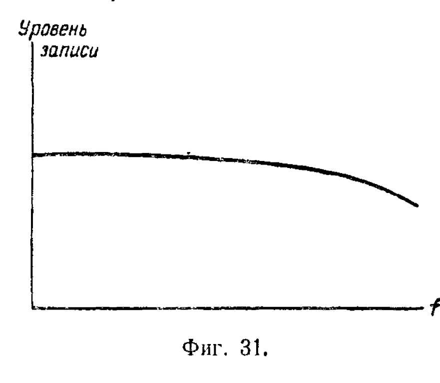
Следующий участок звуконосителя воспримет намагничивание, соответствующее следующему значению поля в зазоре; так будет протекать весь процесс записи.

Другую картину мы видим на высоких частотах. Характерный случай изображен на фиг. 30. Здесь τ соизмеримо с периодом записываемого колебания T, и за время пребывания участка звуконосителя в рабочей щели значение поля меняется весьма значительно, причем не только по величине, но даже и по направлению. Это ведет к ослаблению намагниченности звуконосителя, т. е. к ослаблению записи высоких частот.

Если начертить частотную характеристику щелевых искажений записывающей головки, то она будет выглядеть так, как показано на фиг. 31.

Процесс возникновения щелевых искажений при записи в действительности значительно усложнен неравномерностью магнитного поля в щели, а также наличием дополнительно

высокочастотного поля подмагничивания пленки. Выше была нарисована лишь приближенная картина. Следует указать, что в применяемых сейчас кольцевых головках при их хорошем изготовлении величина щелевых искажений незначительна и не является заметным фактором, влияющим на частотные свойства магнитной записи.



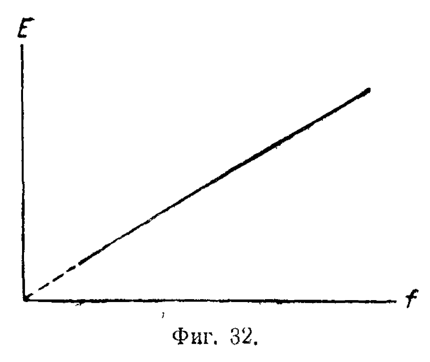
Фиг. 31.

Перейдем к частотным искажениям в воспроизводящей головке. Примем первоначально, что величина намагниченности звуконосителя (ее амплитудное значение) постоянна на всех частотах. Как тогда будет меняться с частотой э. д. с., наводимая в обмотке воспроизводящей головки?

По закону индукции э. д. с. пропорциональна числу витков обмотки и быстроте изменения величины магнитного поля, сцепленного с обмоткой. При условии записи синусоидального тока

$$E \approx w\omega\Phi_{макс}\sin\omega t,$$

т. е. величина наведенной э. д. с. растет пропорционально частоте. Это физически ясно, так как чем выше записанная частота, тем больше число полных перемен направления потока в сердечнике воспроизводящей головки в секунду и тем быстрее, следовательно, меняется этот поток.

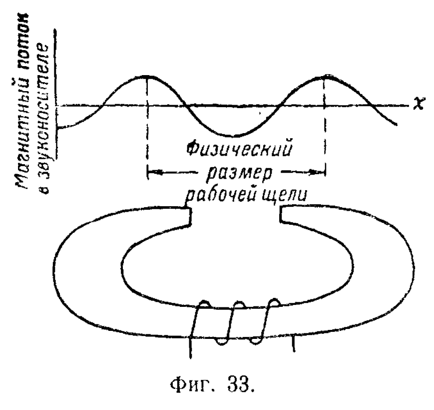


Фиг. 32.

Частотная характеристика воспроизводящей головки должна выглядеть в виде наклонной прямой (фиг. 32), однако практически она имеет несколько другую форму, так как сказываются щелевые искажения.

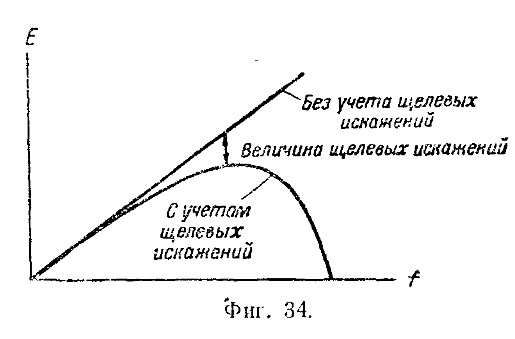
Суть щелевых искажений в воспроизводящей головке состоит в том, что опять-таки вследствие конечности ширины

рабочей щели с обмоткой головки сцепляется поток, выходящий из целого участка звуконосителя, и таким образом головка реагирует не на текущие значения магнитного потока в поперечном сечении звуконосителя, а на некоторое его среднее значение в области физической рабочей щели. Поскольку это среднее значение изменяется вдоль звуконосителя в меньших пределах, чем текущее значение, происходит уменьшение отдачи, уменьшение э. д. с. в обмотке воспроизводящей головки. Наиболее ярко это показано на фиг. 33, где взят случай, когда физическая ширина воспроизводящей щели равна длине волны записи. Нетрудно видеть, что при этих условиях среднее значение потока внутри щели будет всегда равно нулю и э. д. с. в обмотке наводиться не будет. Поэтому окончательно частотная характеристика воспроизводящей головки будет выглядеть так, как показано на фиг. 34.



Фиг. 33.

Величина щелевых искажений как при записи, так и при воспроизведении фактически зависит не от частоты, а от отношения ширины щели к длине волны, однако в заданном аппарате, когда скорость и размеры головки определены, щелевые искажения возрастают с частотой. При сравнении же различных аппаратов, работающих с разными головками и на разных скоростях, следует помнить сказанное выше. Так, например, с увеличением скорости звуконосителя (при всех прочих равных условиях) щелевые искажения становятся меньше.

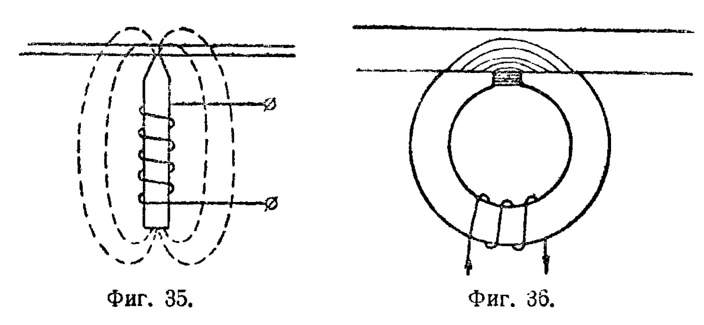


Фиг. 34.

При кольцеобразных головках существующей конструкции, у которых геометрическая ширина щели равна 15—20 μ,

щелевые искажения невелики; на частоте 8—9 *кгц* они составляют при скорости 77 *см/сек* всего 2—3 *дб*.

На величину щелевых искажений как при записи, так и при воспроизведении влияют конструкция головок и выбор материала для ее сердечника и для звуконосителя. Головки, имеющие меньшее поле рассеяния и, следовательно, более узкую «физическую» щель, как, например, кольцеобразные головки, обеспечивают малую величину щелевых искажений. Наибольшими щелевыми искажениями обладает однополюсная головка (фиг. 35) с разомкнутой магнитной цепью.



Фиг. 35. Фиг. 36.

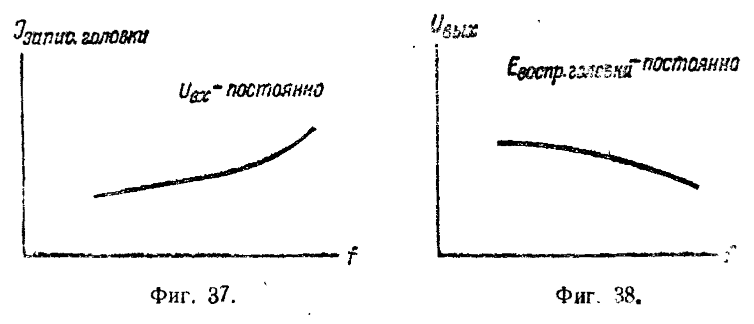
Важно обеспечить также выполнение условия, чтобы магнитное сопротивление сердечника головки было значительно меньше магнитного сопротивления звуконосителя, иначе в месте их соприкосновения будет происходить частичный переход магнитного потока из сердечника головки в звуконоситель (или обратно — для воспроизводящей головки), что вызывает увеличение физической ширины рабочей щели. На фиг. 36 это показано для случая записывающей головки.

Так как магнитные сопротивления материалов обратно пропорциональны их магнитным проницаемостям (μ), то указанное условие можно записать в форме:

$$\mu_{\textit{сердечника}} \gg \mu_{\textit{звуконосителя}}.$$

μ звуконосителя нельзя выбрать слишком малым, так как это вызовет слабую намагничиваемость и малую отдачу звуконосителя. У магнитной пленки, изготовленной путем нанесения порошкообразного ферромагнетика на немагнитную основу, $\mu = 4 \div 6$. У сплошных звуконосителей значение μ еще больше. Поэтому приходится итти по пути увеличения μ сердечника, делая его из пермаллоя или мю-металла.

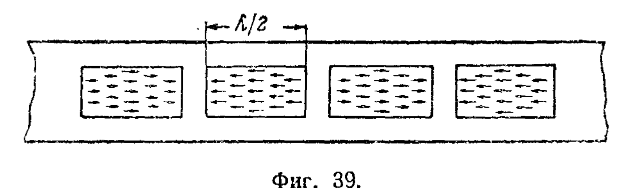
Кроме щелевых искажений, в головках следует учитывать также искажения, вызываемые изменением с частотой электрического сопротивления их обмоток. Проще всего их учесть при расчете соответствующих усилителей. Для этого в даль-



Фиг. 37. Фиг. 38.

нейшем изложении под частотной характеристикой усилителя записи будем понимать зависимость тока через обмотку записывающей головки от частоты (фиг. 37), а под частотной характеристикой усилителя воспроизведения — зависимость выходного напряжения от частоты при неизменной величине э. д. с. в обмотке воспроизводящей головки (фиг. 38).

Переходим к частотным искажениям в звуконосителе. В простейшем случае записи синусоидального тона звуконоситель приводится в состояние переменной намагниченности по своей длине, причем области одного направления намагничивания равны по длине $\lambda/_2$ (фиг. 39) (λ — длина волны



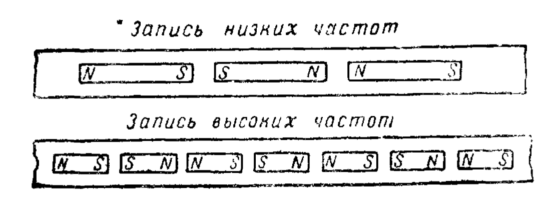
Фиг. 39.

намагничивания звуконосителя, равная произведению периода записываемого колебания на скорость звуконосителя). Таким образом, по отношению к звуконосителю различие в записи высоких и низких частот состоит в том, что в первом случае в нем образуются короткие области однонаправленного намагничивания, во втором — длинные. Если упрощенно рассматривать каждую такую область, как небольшой постоян-

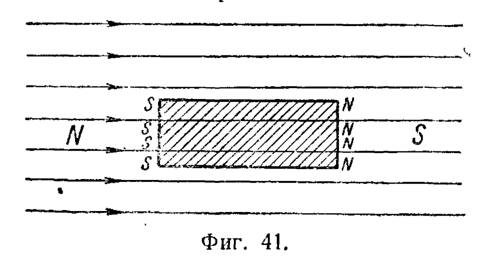
1—465

ный магнит, то условная «магнитная схема» для обоих случаев будет соответствовать показанной на фиг. 40.

Предположим, что напряженность поля в зазоре записывающей головки была одинаковой как на низких, так и на высоких частотах, и что рабочая щель записывающей головки настолько узка, что щелевые искажения практически отсутствовали. Будет ли при этом намагниченность звуконосителя (его амплитудное значение) одинаковой на записи низких и высоких частот? Оказывается, нет. Причиной этого является саморазмагничивание звуконосителя, сущность которого состоит в следующем: пусть некоторый брусок из ферромагнитного материала помещен во внешнее магнитное поле (фиг. 41). Если по истечении некоторого времени внешнее поле удалить, то брусок останется намагниченным благодаря наличию в намагничиваемом материале так называемых коэрцитивных сил, действие которых можно уподобить некоторому внешнему полю того же направления, что и первоначальное (фиг. 42).



Фиг. 40.



Фиг. 41.

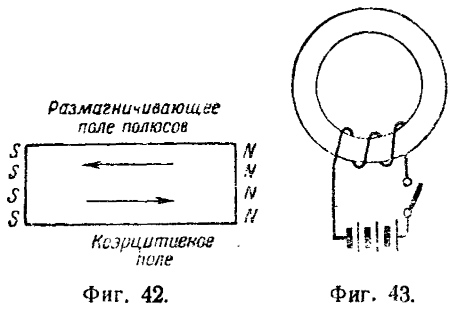
Образующиеся на концах бруска полюсы создают дополнительное поле, направление которого внутри бруска, как видно из фиг. 42, противоположно полю, удерживающему намагниченное состояние бруска. Поэтому из-за действия полюсов намагниченность бруска уменьшается, — возникает то, что называется саморазмагничиванием.

В одном только случае саморазмагничивание отсутствует: если намагничиваемый материал имеет форму кольца

(фиг. 43). При этом полюсы не образуются, и размагничивающее поле не возникает.

В случае же незамкнутого сердечника, как это изображено на фиг. 41, размагничивающее поле может считаться незначительным только в том случае, если длина сердечника значительно превышает размеры его поперечного сечения. Чем короче намагниченный образец, тем ближе к его середине полюсы, тем больше саморазмагничивание и падение вследствие этого его намагниченности.

Теперь уже нетрудно понять, что запись высокой частоты будет давать меньшую намагниченность звуконосителя, так как при ней образуются более короткие области намагничивания, в большей степени подверженные саморазмагничиванию.



Фиг. 42. Фиг. 43.

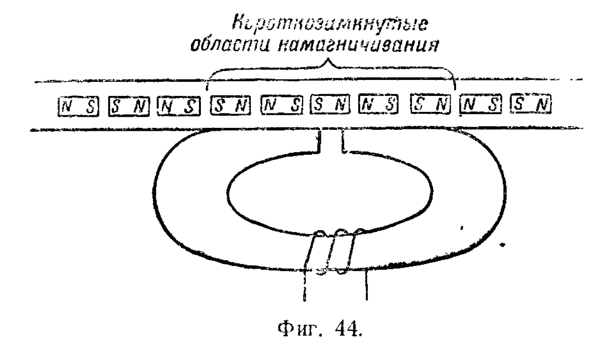
Строго говоря, уменьшение намагниченности звуконосителя связано не с частотой, а с отношением длины волны к размерам поперечного сечения звуконосителя. Чем это отношение меньше, тем саморазмагничивание больше. Поэтому при всех прочих равных условиях повышение скорости звуконосителя понижает влияние саморазмагничивания, так как при этом увеличивается $\lambda = \frac{v}{f}$; также меньше саморазмагничивание в более тонких носителях. Кроме того, сам материал звуконосителя, его магнитные свойства, оказывают большое влияние на протекание процесса саморазмагничивания; это будет подробно рассмотрено в главе 3.

При воспроизведении сердечник воспроизводящей головки шунтирует отдельные области однонаправленного намагничивания звуконосителя (фиг. 44), при этом полюсы на концах этих областей уничтожаются и поле саморазмагничивания пропадает. Индукция в звуконосителе несколько возрастает, но далеко не достигает того значения, которое она имела бы, если бы саморазмагничивание вообще отсутствовало. Это можно увидеть из фиг. 45. Здесь B_2—то значение остаточной индукции, которое имело бы место при отсутствии саморазмагничивания; B_1 — фактическое значение остаточной индукции, обусловленное наличием размагничивающего поля H_p; B_3 —

«восстановленное» значение индукции в момент соприкосновения звуконосителя с воспроизводящей головкой ($H_p = 0$).

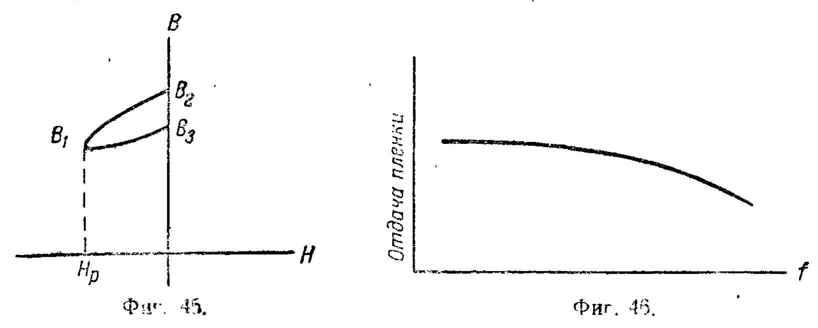
Как видно, хотя $B_3 > B_1$, но $B_3 < B_2$.

Явление саморазмагничивания является заметным препятствием в осуществлении широкополосной магнитной звукоза-



Фиг. 44.

писи. Даже при применении мало склонной к саморазмагничиванию магнитной пленки и при такой высокой скорости, как 77 *см/сек*, завал частотной характеристики на частотах 8—10 *кгц*, обусловленный указанным явлением, составляет 6—8 *дб*. На более высоких частотах влияние саморазмагничивания еще сильнее. Частотная характеристика эффекта саморазмагничивания показана на фиг. 46.

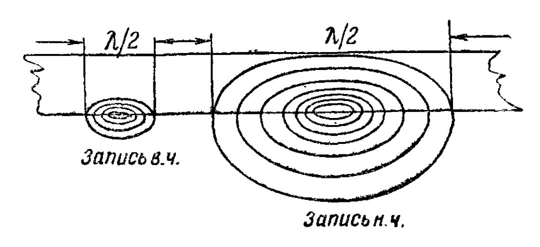


Фиг. 45. Фиг. 46.

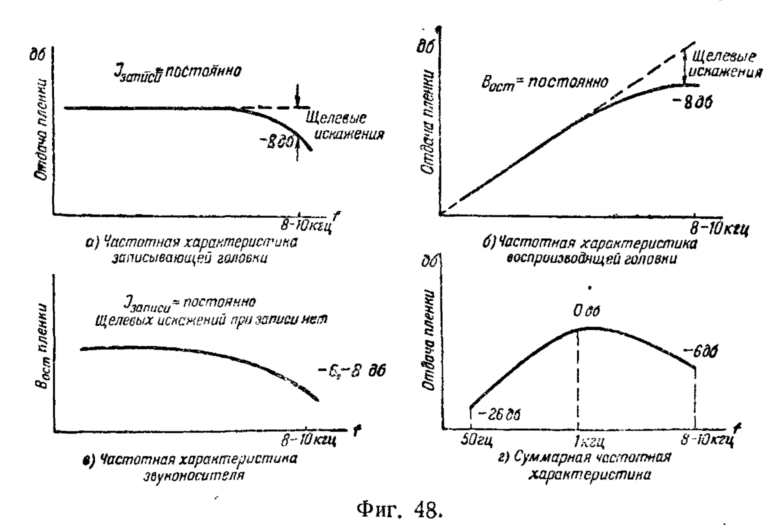
Дополнительные частотные искажения вызываются в звуконосителе так называемым эффектом проникновения.

Обнаружено, что короткие области однонаправленного намагничивания, соответствующие записи более высоких частот, распространены в глубину феррослоя звуконосителя меньше,

чем более длинные (фиг. 47), и в силу этого дают меньший эффект при воспроизведении. По литературным данным, глубина проникновения намагничивания во внутрь феррослоя не превышает на низких и средних частотах 25 μ и уменьшается на высоких частотах. Поэтому в звуконосителях с толщиной феррослоя значительно меньшей, чем 25 μ, эффект проникновения не должен вызвать частотных искажений, поскольку при записи всех частот намагничивание займет всю толщину феррослоя. В более толстых носителях указанный эффект вызовет дополнительный завал высоких частот. Отсюда можно сделать вывод, что вряд ли



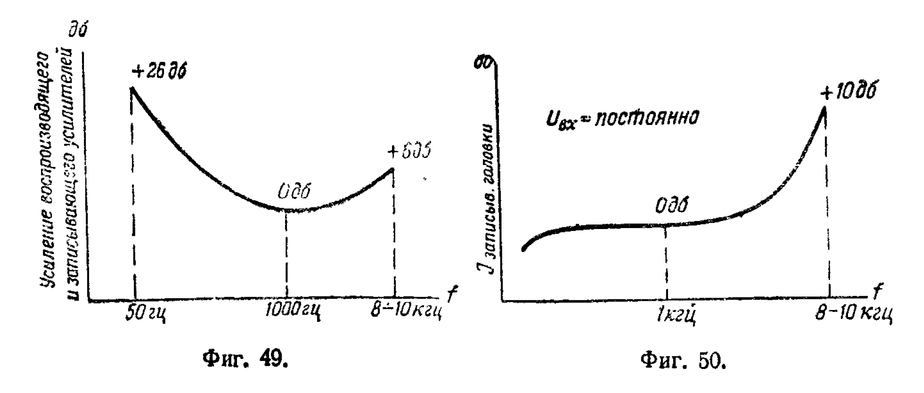
Фиг. 47.



Фиг. 48.

целесообразно применять звуконосители с большой толщиной феррослоя — все равно на средних и низких частотах будет использоваться лишь часть толщины, а на высоких частотах и того меньшая часть. Наоборот, применение тонкого феррослоя выгодно тем, что устраняется различие в проникновении записи низких и высоких частот.

Подведем итог сказанному и просуммируем те искажения, которые возникают в головках в звуконосителе. На фиг. 48 собраны вместе частотные характеристики отдельных звеньев и построена суммарная (фиг. 48,*г*) характеристика. Щелевые искажения показаны с учетом несовершенства изготовления головок и постепенного ухудшения их вследствие износа. Исходя из этой характеристики, нетрудно найти требуемую для коррекции искажений совместную характеристику усилителей записи и воспроизведения. Она представлена на фиг. 49. Как видно, необходим подъем усиления как на низких, так и на высоких частотах. Но этот подъем можно произвести как в усилителе записи, так и в усилителе воспроизведения; спраши-



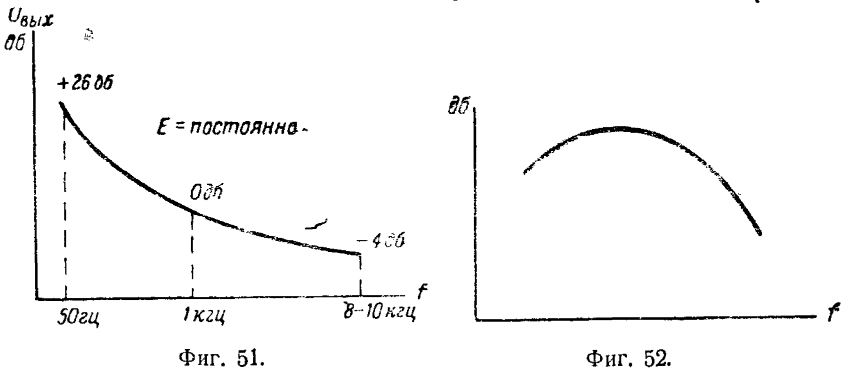
Фиг. 49. Фиг. 50.

вается, как и где его выгоднее сделать? Наиболее удачным является вариант, при котором подъем усиления на высоких частотах осуществляют в максимально допустимых пределах в усилителе записи (фиг. 50), а в усилителе воспроизведения понижают усиление на средних и высоких частотах, чем и добиваются требуемого подъема низких частот (фиг. 51).

Путем сложения обеих характеристик мы получим требуемую общую характеристику такой, как она показана на фиг. 49.

С точки зрения понижения шумов усилительного тракта было бы очень выгодным осуществить возможно больший подъем высоких частот при записи, так как при этом можно было бы больше «завалить» их при воспроизведении, а это снижает прослушивание собственного шума усилителя воспроизведения. Однако здесь мы сталкиваемся с ограничивающими факторами. Повышение усиления при записи высоких ча-

стот приводит к тому, что пленка на этих частотах будет сильнее намагничиваться, и не исключена возможность появления нелинейных искажений, когда мы выйдем за пределы линейного участка характеристики намагничивания звуконосителя или амплитудной характеристики усилителя записи. Правда, благоприятным является то, что в спектре натуральных звучаний голоса, оркестра и отдельных музыкальных инструментов высокочастотные составляющие значительно ослаблены по сравнению со среднечастотными составляющими. Примерная картина распределения интенсивности отдельных составляющих по диапазону частот показана на фиг. 52.



Фиг. 51. Фиг. 52.

На частотах 8—10 *кгц* имеет место «завал» в среднем на 10—12 *дб*. Поэтому на эту величину (но не большую) можно осуществлять подъем усиления при записи этих частот без опасности вызвать премодуляцию и нелинейные искажения.

Так определяется допуск на величину коррекции частотной характеристики в усилителе записи.

Из изложенного выше видно, что применяемая в магнитной звукозаписи система взаимной коррекции частотных искажений как бы разбивает общую частотную характеристику всего канала записи-воспроизведения на две: частотную характеристику записи, в которую входят характеристики усилителя записи, записывающей головки и звуконосителя, и частотную характеристику воспроизведения, включающую в себя характеристику воспроизводящей головки и усилителя воспроизведения. В сумме обе они дают общую прямолинейную характеристику во всей полосе частот, на которую рассчитан аппарат. Поскольку на практике записи, произведенные на одном аппарате, прослушиваются в течение длительного

срока как на этом же аппарате, так, возможно, и на подобных ему, становится необходимым для обеспечения во всех случаях качественного воспроизведения соблюдать и поддерживать неизменными частотную характеристику записи и отдельно частотную характеристику воспроизведения в том виде, в каком они предусмотрены конструкцией аппарата.

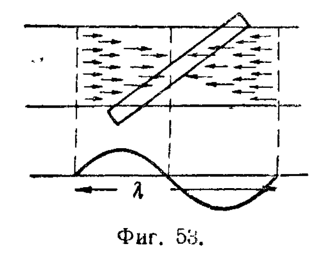
Это легко уяснить из такого примера. Пусть у нас имеются 2 однотипных аппарата: *А* и *Б*. Общая частотная характеристика (всего канала записи-воспроизведения) у обоих аппаратов прямолинейная. Однако в аппарате *А* осуществлен больший по сравнению с нормальным подъем высоких частот при записи, а в аппарате *Б* при воспроизведении. До тех пор, пока мы не произведем обмен фонограмм, записанных на обоих аппаратах, мы не обнаружим этих отклонений, так как в пределах каждого аппарата характеристики записи и воспроизведения взаимно скорректированы. Но попробуем послушать записи, сделанные на аппарате *А*, с помощью воспроизводящей части аппарата *Б*. Так как записи на аппарате *А* имели избыток высоких частот, а воспроизведение на аппарате *Б* еще больше подчеркивает их звучание, прослушивание даст неприятное ощущение чрезмерного избытка высоких частот. Звук будет резкий, металлический, с оттенком дребезжания. Наоборот, если записи на аппарате *Б* прослушать на аппарате *А*, то можно заметить недостаток в звучании высоких частот.

Таким образом, мы убеждаемся в необходимости строго соблюдать технические нормы на частотные характеристики записи и воспроизведения.

Практически это осуществляют так: на хорошем аппарате, у которого характеристики усилителей проверены и соответствуют техническим нормам для данного аппарата, головки не изношены и установлены правильно, на типовом звуконосителе, на который рассчитан аппарат, производят запись ряда частот интервалами по 10—15 сек. Для этого на вход усилителя записи подключают генератор звуковой частоты и подают с него напряжение, лежащее в пределах 10—30% от максимально допустимого. Понятно, что на всех частотах входное напряжение поддерживается неизменным. Выбор частот в общем произволен, но он должен обеспечить достаточное количество точек для построения характеристики во всем частотном диапазоне аппарата. Например, можно записать 50, 100, 200, 400, 800, 2 000, 3 000, 4 000, 5 000, 6 000, 7 000, 8 000, 9 000, 10 000 *гц*. Сделанная запись принимается за не-

который эталон записи для данного типа аппаратуры и является тем отправным элементом, относительного которого производится периодическая проверка и регулировка частотных характеристик усилителей записи и воспроизведения. Пленка с эталонной записью отдельных частот называется тэстфильмом (т. е. фильмом для испытаний).

Настройка звукозаписывающего аппарата при помощи тэстфильма ведется следующим образом: воспроизводят тэстфильм на настраиваемом аппарате и, регулируя частотную характеристику усилителя воспроизведения, добиваются постоянства выходного напряжения на всех частотах рабочего диапазона.



Фиг. 53.

Следует иметь в виду, что неправильная установка воспроизводящей головки может обречь на неудачу попытку настроить воспроизводящую часть аппарата. В свое время, при рассмотрении величины щелевых искажений и коррекции, требуемой для устранения этих искажений, предполагалось, что щели головок (как записывающей, так и воспроизводящей), установлены строго параллельно между собой и перпендикулярно направлению движения звуконосителя. Что произойдет при перекосе, например, воспроизводящей головки? На записи высоких частот, когда длина волны намагничивания звуконосителя очень мала и соизмерима с размером перекоса, может случиться, что один конец рабочей щели охватывает некоторую область, расположенную внутри полуволны одного направления намагничивания, а другой конец соприкасается с полуволной другого направления (фиг. 53). Эффекты действия верхней и нижней половин рабочей щели будут в таком случае вычитаться, отдача пленки на высоких частотах будет падать.

Этот дополнительный завал высоких частот может достигнуть весьма значительной величины, поэтому перед настройкой воспроизводящей части аппарата следует воспроизвести то место тэстфильма, которое содержит запись достаточно высокой частоты (6—8 *кгц*) и вследствие этого чувствительно реагирует на наличие указанного перекоса. Поворачивая воспроизводящую головку, выбирают такое ее положение, при котором выходной уровень получается наибольшим.

Закончив настройку воспроизводящей части аппарата, приступают к записывающей части. Подсоединяя на вход усили-

теля записи генератор звуковой частоты, подают с него такое напряжение, чтобы при воспроизведении записи на выходе канала было такое же напряжение, какое было при воспроизведении тэстфильма. Предполагается, конечно, что регуляторы усиления усилителя воспроизведения остались в старом положении. Изменяя частоту генератора, следят за уровнем на выходе канала и, изменяя частотную характеристику усилителя записи, добиваются постоянства его в рабочем диапазоне в пределах технических допусков на данный аппарат.

Точно так же тут полезно первоначально проверить отсутствие перекоса щели записывающей головки. Для этого, производя запись частоты 6—8 *кгц,* изменяют положение записывающей головки (только ее!) и выбирают то, при котором получается наибольшая отдача с пленки.

Нелинейные искажения

Как и частотные, нелинейные искажения могут возникать во всех элементах звукозаписывающей аппаратуры: в усилителях, головках, звуконосителе.

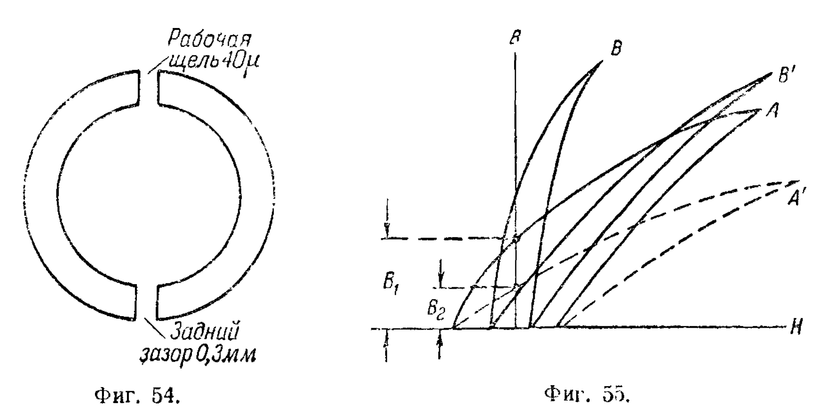
Мы не будем останавливаться на искажениях в усилителях, так как причины возникновения и способы снижения их до минимума разобраны в многочисленных курсах усилителей низкой частоты.

Причиной появления нелинейных искажений в головках может быть:

а) Искажение формы тока, протекающей по обмотке головки, вследствие насыщения сердечника. Опасность этого отчасти возникает в записывающей головке, но устраняется она легко: кроме рабочей щели с задней стороны у записывающей головки делается дополнительный воздушный зазор (необходимость его диктуется еще и второй причиной, изложенной ниже). Этот зазор снижает величину магнитной индукции в сердечнике до неопасных значений. Воспроизводящая же головка вообще работает при очень малых индукциях в сердечнике, и ей опасность возникновения искажений по этой причине не грозит.

б) Намагничивание сердечника головок. Это намагничивание может произойти как от случайного прикосновения намагниченным предметом (например, стальным инструментом), так и от протекания по обмотке головки сильного импульса тока (например, на громких выкриках при записи). В обоих

случаях это намагничивание нежелательно, так как при нем на переменное поле в зазоре накладывается дополнительное постоянное поле остаточного намагничивания сердечника. Это ведет к искажению формы намагничивания звуконосителя, т. е. к появлению нелинейных искажений. Задача сводится к уменьшению остаточного намагничивания сердечника. В записывающей головке, где имеется наибольшая вероятность намагничивания от случайного сильного импульса тока, устраивают дополнительный задний зазор, о котором уже упоминалось. Устройство его показано на фиг. 54.



Фиг. 54. Фиг. 55.

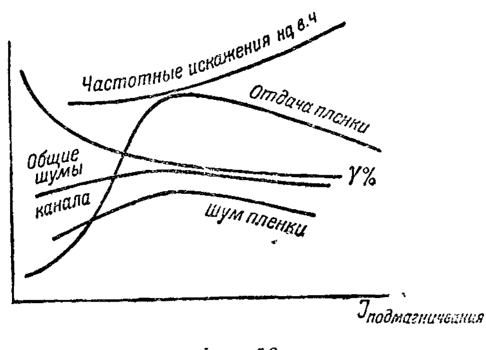
Действие этого зазора удобно проследить на фиг. 55. Здесь A — часть петли гистерезиса, снятой для кольцеобразного сердечника без дополнительного зазора. B_1 — остаточное намагничивание, которое может от случайных причин приобрести сердечник. При введении дополнительного зазора индукция в сердечнике становится меньшей при любом значении напряженности поля, и петля гистерезиса изображается кривой A. В новых условиях возможная остаточная индукция определяется величиной $B_2 < B_1$. Особенно заметно снижение остаточной индукции при введении дополнительного зазора у материалов с высокой проницаемостью. На той же фиг. 55 для сравнения приведена петля гистерезиса B, снятая для сердечника с высокой проницаемостью без дополнительного зазора и B'—с зазором.

Поскольку применение высокопроницаемых материалов для сердечников головок выгодно еще и тем, что снижает величину щелевых искажений (см. ранее), почти все изготавли-

ваемые сейчас головки сделаны из пермаллоя или мю-металла.

В воспроизводящей головке невыгодно делать дополнительный зазор, так как понижается уровень напряжения, развиваемого головкой, поэтому она «беззащитна» против случайных намагничиваний. Правда, грозит оно ей только от внешнего воздействия, так как рабочие поля ее и токи в обмотке ничтожны.

Рекомендуется перед началом работы производить размагничивание всех головок аппарата при помощи разомкнутого соленоида, питаемого переменным током. Операция эта аналогична размагничиванию пленки, описанному в главе 1. Это размагничивание наверняка предохраняет от возможности возникновения нелинейных искажений в головках и кроме того оно понижает шум на записи, о чем говорится ниже.



Фиг. 56.

Переходим к звуконосителю. Он, собственно говоря, является основным источником возникновения нелинейных искажений в магнитной звукозаписи, и борьба с искажениями в нем особенно затруднительна. В главе 1 было показано, что наиболее благоприятным со всех точек зрения, в том числе и в отношении нелинейных искажений, является высокочастотный режим записи. Поэтому мы сейчас будем рассматривать только этот режим и, говоря о нелинейных искажениях в звуконосителе, будем подразумевать искажения при в. ч. режиме записи.

Опыт показывает, что изменение величины высоко-частотного тока подмагничивания резко изменяет все качественные показатели записи. На фиг. 56 графически показана зависимость от тока подмагничивания: клирфактора, уровня отдачи пленки (на средних частотах), уровня шумов звуконосителя и коэффициента частотных искажений на высоких звуковых частотах.

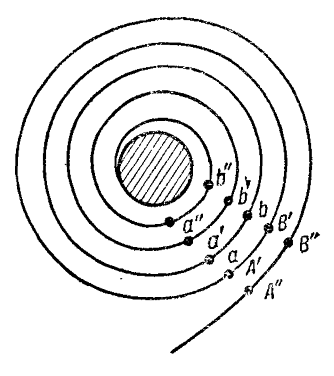
Как видно из фиг. 56, для уменьшения клирфактора нужно брать большее значение тока подмагничивания, однако

с его увеличением ухудшается запись высоких частот и падает отдача на средних частотах, а это последнее связано с сокращением динамического диапазона записи, так как уровень общих шумов канала (включая шумы усилителей и помехи от лентопротяжного механизма) остается примерно постоянным. В силу этого ограничиваются значением тока подмагничивания, соответствующим наибольшей отдаче пленки, тем более что выигрыш в уменьшении клирфактора при дальнейшем увеличении этого тока незначителен. При подмагничивании, выбранном таким образом, одновременно получаются удовлетворительные результаты и по записи высоких звуковых частот и по шумам.

Подбирая каждый раз оптимальный режим записи, мы можем обнаружить, что при разных звуконосителях клирфактор записи получается различным. Это связано с различием магнитных свойств звуконосителей. Из порошкообразных носителей (магнитных пленок) пленка типа Л в большей своей массе обладает меньшими нелинейными искажениями, чем пленка С (о сортах пленок см. главу 3).

Копирэффект

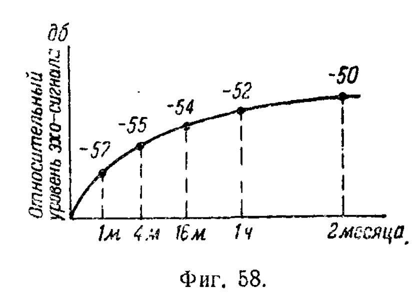
Весьма неприятным видом помех, в значительной степени присущим магнитной звукозаписи, является так называемый копирэффект, или эффект эхо. Для пояснения обратимся к фиг. 57, изображающей рулон магнитной пленки, содержащей запись. Отдельные слои пленки, тесно соприкасаясь в рулоне друг с другом, могут вызывать взаимное намагничивание. В некоторых случаях оно будет проявляться особенно сильно. Пусть, например, участок *ab* (фиг. 57) содержит громкую запись слова «один!», причем до и после произношения этого слова была пауза; таким образом пленка до и после участка *ab* осталась ненамагниченной (имеется в виду высокочастотный способ записи). Что произойдет, если эта пленка, смотанная в рулон, будет оставлена на хранение? Сильная



Фиг. 57.

намагниченность участка ab передастся соседним слоям и создаст аналогичную (но более слабую) намагниченность их на участках $a'b'$, $a''b''$, $A'B'$, $A''B''$ и т. д.; более далеко расположенные участки пленки намагнитятся, естественно, слабее. Если теперь пленку пропустить мимо воспроизводящей головки, то вначале мы услышим повторяющиеся с каждым оборотом слабые воспроизведения слова «один!», соответствующие участкам пленки $A''B''$ и $A'B'$. Это так называемое предшествующее эхо. Чем ближе к основной записи, тем оно будет сильнее. Наконец, воспроизводится основной сигнал и за ним снова повторяющиеся эхо-сигналы; это уже последующее эхо. Каждое последующее эхо слабее предыдущего. Наиболее резко обнаруживается эхо тогда, когда громкий выкрик на записи имеет перед собой и после себя паузу. Этот случай и был разобран выше. Такие неблагоприятные ситуации чаще всего возникают на речевых записях. На музыкальных записях, где имеет место почти непрерывное звучание, эхо-сигналы маскируются и в большинстве случаев не слышны.

Нечего и говорить, что эхо-сигналы сильно нарушают художественную ценность записи, действуя раздражающе на слух, отвлекая на себя внимание. Поэтому борьбе с этим явлением уделяется много внимания. Чем дольше находились в соприкосновении при намотке в рулон отдельные слои пленки, тем сильнее «пропечатывается» эхо. Правда, спустя 1 час рост эхо замедляется, так что практически можно считать, что дальнейшее хранение пленки не вызывает его увеличения. На фиг. 58 приведена кривая, показывающая рост эхо-сигнала в зависимости от времени с момента намотки пленки в рулон. Попадаются, однако, сорта пленки (например, пленка С черного цвета), у которых эхо продолжает сильно расти в течение более длительного срока. Разумеется, во всех случаях мы предполагаем, что во время хранения пленка не подвергалась каким-либо внешним воздействиям— например, нагреванию, толчкам, ударам, так как это может увеличить сигнал «эхо».



Фиг. 58.

Интересно, что лет десять назад, когда магнитную запись производили на стальную проволоку, явление копирэффекта

не обнаруживалось. Объясняется это двумя причинами: во-первых, беспорядочная намотка проволоки на кассеты приводит к тому, что какой-либо участок звуконосителя, не содержащий записи, подвергается магнитному влиянию со стороны многих участков с записью, окружающих его со всех сторон. Поэтому характер пропечатавшегося «на паузу» сигнала получается неразборчивым как результат совместного воздействия многих мест в записи. Следовательно, копирэффект был и при записи на проволоку, но он не был так разборчив, как при теперешней записи на пленку: вместо этого за счет его происходило некоторое возрастание шума на паузах. Во-вторых, применявшаяся в то время запись с подмагничиванием пленки полем постоянного тока имела значительный собственный шум, и он маскировал относительно слабые сигналы эхо.

Обесшумливание пауз — как результат применения в. ч. метода и упорядоченная намотка пленки — увеличили опасность копирэффекта.

Существуют ли меры борьбы с ним?

Нет радикальных мер, полностью исключающих влияние этого явления, но есть меры, уменьшающие его, и намечены пути решения этой задачи.

Поскольку во всех существующих конструкциях аппаратов применена намотка пленки в ролик, копирэффект, хоть и в малой степени, но вероятно неизбежен. Для полного уничтожения его надо было бы устранить контакт между отдельными участками звуконосителя, т. е. не сматывать пленку в рулон. Наиболее правильный путь ослабления копирэффекта — это изготовление или, в крайнем случае, отбор пленок с малым копирэффектом.

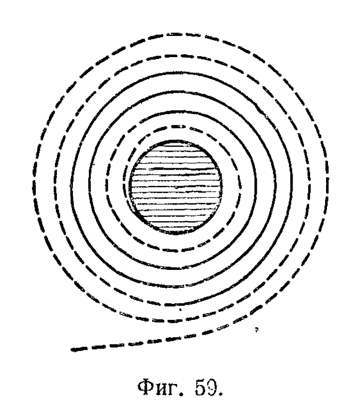
Из существующих пленок меньшим копирэффектом обладает пленка Л, что делает ее весьма ценной для речевых записей. Пленка С требует обязательного отбора, так как различие в величине копирэффекта достигает у нее 12 *дб*. Редко встречающаяся пленка Т за счет несколько лучших магнитных свойств рабочего слоя и несколько большей толщины приближается по величине копирэффекта к пленке типа Л.

Увеличение толщины пленки или введение между слоями прокладок снижает пропорционально величину копирэффекта. Однако этот способ неудовлетворителен, так как пленка увеличенной толщины теряет свою эластичность и неровно протягивается ходовым механизмом, а любые прокладки неудобны в эксплоатации. Было сделано предложение наносить на обратную сторону пленки магнитный экран из высокопрони-

цаемого порошкообразного материала. Однако этот способ еще не проверен, и трудно сказать о его эффективности. Трудность заключается в невозможности получить высокую проницаемость порошкообразного слоя, не делая его слишком концентрированным и не ухудшая тем самым механических свойств пленки (она становится более жесткой).

Известные в настоящее время опыты показывают, что режим записи мало влияет на степень проявления копирэффекта.

Записи, сделанные в гулких помещениях, на открытых площадках, в зрительных залах обнаруживают на слух меньшее эхо. Это объясняется, по всей вероятности, тем, что шумы и акустическое эхо маскируют и делают неразборчивым эхо магнитное.



Фиг. 59.

Некоторое улучшение дает запись на небольших роликах пленки, по сравнению с большими. На фиг. 59 сплошной линией показана пленка, несущая на себе запись, а пунктирной — чистая пленка, соответствующая паузе.

Как видно, благодаря малому диаметру ролика запись какого-либо отдельного слова занимает несколько слоев в рулоне. Копируются же на соседние витки чистой пленки в основном лишь внешние слои, как более близкие. Следовательно, в рассматриваемых условиях эхо-сигнал будет содержать лишь часть записанного слова и, кроме того, будет непосредственно, без отделяющей паузы примыкать к основному сигналу. Эти два обстоятельства приводят к меньшей разборчивости и распознаваемости эхо на слух. Точно такую же меньшую разборчивость эхо создает и запись с повышенной модуляцией (т. е. более громкая). При этом, по всей вероятности, пропечатываются не отдельные наиболее громкие места, а происходит сплошное взаимное пропечатывание всех участков пленки. В результате несколько повышается общий шум, но так как запись была произведена громче нормальной, при воспроизведении мы имеем возможность уменьшить усиление, благодаря чему и шум не станет значительно прослушиваться. Вообще же борьба с копирэффектом остается пока одной из нерешенных проблем магнитной звукозаписи.

Шумовые искажения

Не менее неприятной, чем копирэффект, является помеха за счет шума, прослушиваемого при воспроизведении записи. Этот шум может появиться по разным причинам. Мы не будем рассматривать тот шум, который существовал в самом помещении, где происходила запись — так называемый шум студии. Речь будет итти о постороннем шуме — т. е. шуме, внесенном процессом звукозаписи. Основные источники его: а) шум усилителей; б) шумы звуконосителя; в) электромагнитные наводки со стороны лентопротяжного механизма.

Меры уменьшения шумов усилителя достаточно известны. Надо, во-первых, устранить пульсации напряжений питания ламп усилителей, для чего требуются соответствующие фильтры. Целесообразно также накал ламп питать выпрямленным током в тех каскадах, где уровень сигнала слаб (входная лампа усилителя воспроизведения и микрофонного усилителя). Отдельные детали и подводящие провода должны быть соответственно заэкранированы.

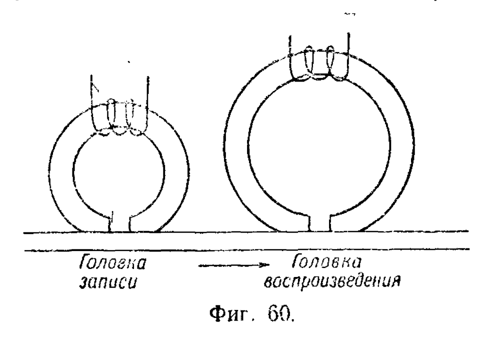
Рекомендуется при монтаже усилителей выводить линию «нулевого потенциала». Пример этого приведен в главе 4, где описывается аппаратура магнитной звукозаписи.

Большое значение имеет выбор лампы 1-го каскада. Так как различие ламп одного и того же типа по шумам велико, то рекомендуется производить отбор лучшего экземпляра. Сигнал, поступающий с воспроизводящей головки, настолько мал, что следует для должного перекрытия уровня собственных шумов лампы включать повышающий трансформатор с коэффициентом трансформации от 1 : 25 до 1 : 100.

Второй источник — это шумы звуконосителя. Общей причиной их является его магнитная и механическая неоднородность, однако в разных условиях она проявляется в неодинаковой степени. Нетрудно понять, что лишь в намагниченном носителе неоднородности могут создать шумовой фон при воспроизведении. Представим себе, что на носитель во время записи воздействовало неизменное постоянное поле (фиг. 60). Однако, несмотря на это, отдельные элементы носителя приобретут различную намагниченность. Причина заключается в неодинаковой концентрации магнитного порошка в рабочем слое и размеров зерен этого порошка (для случая магнитной пленки), а также в непостоянстве толщины звуконосителя и шероховатости его поверхности, из-за чего он то более, то менее плотно прилегает к головкам. Из-за всего этого магнитный поток в сердечнике воспроизводящей головки будет пуль-

сировать, создавая в ее обмотке шумовую э. д. с. Но стоит прекратить намагничивание носителя, как эта э. д. с. пропадет, шума не будет.

В главе 1 указывалось, что способом уменьшения шумов в паузах на записи является применение в. ч. режима стирания и записи. Это и понятно, так как при этих режимах звуконоситель в паузах находится в размагниченном состоянии.



Фиг. 60.

При записи звуконоситель намагничивается и неоднородности его вновь проявляются, создавая шум, сопровождающий звучание. Однако в большинстве случаев он маскируется основным звучанием и поэтому незаметен. Лишь при записи сольных инструментов, таких, как рояль, скрипка, флейта, маскировка получается недостаточной и на слух прослушивается характерное шипение, сопровождающее звучание. В паузах оно естественно исчезает. Для записи сольных инструментов следует применять более однородный звуконоситель, чем это требуется для других записей. В некоторых случаях даже при применении в. ч. режимов записи и стирания пауза получается нечистой, шипящей. Обычно это происходит оттого, что по каким-либо причинам намагничены сердечники самих головок или стальные ролики, через которые проходит в ходовом механизме звуконоситель. Намагниченная деталь намагничивает носитель и создает шум.

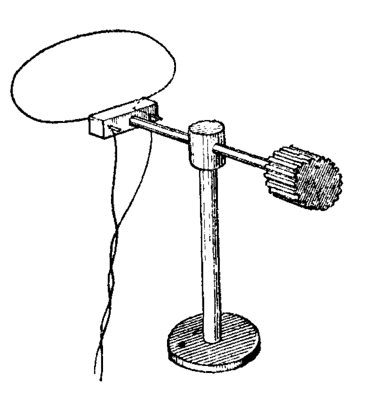
Во избежание указанного явления следует весьма осторожно обращаться с головками и направляющими узлами ходового механизма, чтобы их случайно не намагнитить. Иногда нечаянное прикосновение отверткой к сердечнику головки создает уже достаточную намагниченность его для того, чтобы шум в паузе стал ясно слышен.

Неправильно составленная схема может привести к намагничиванию записывающей головки. Часто включение записывающего усилителя производится путем включения анодного напряжения Это удобно тем, что включение происходит мгновенно, поскольку катоды ламп заблаговременно нагреты. Если при этом записывающая головка постоянно подсоединена

к выходу усилителя записи, она может намагничиваться от импульса тока включения. Поэтому следует применить схему, подобную приведенной в главе 4 схеме профессионального магнитофона (фиг. 79). Рекомендуется периодически производить размагничивание головок и отдельных узлов ходового механизма при помощи соленоида, питаемого переменным током от осветительной сети. Этот способ был описан в главе 1 применительно к пленке.

Переходим к третьему источнику шумов — наводкам от ходового механизма.

Ходовой механизм обычно содержит ряд электроприборов. Это, в первую очередь, электродвигатели, приводящие в движение звуконоситель, и различные реле, выполняющие различные механические операции. Все эти электроприборы создают довольно сильное электромагнитное поле, возбуждающее в обмотке расположенной тут же воспроизводящей головки э. д. с. низкой частоты (50 ÷ 200 *гц*), которая прослушивается в форме фона.



Фиг. 61.

Можно указать ряд способов уменьшения этого фона.

1. Хорошая экранировка воспроизводящей головки. В качестве материала следует применять высокопроницаемый пермаллой.

2. Возможное удаление воспроизводящей головки от наиболее сильных источников помех.

3. Применение в ходовом механизме электромоторов и реле с меньшими полями рассеяния.

4. Включение последовательно с обмоткой воспроизводящей головки небольшой катушки, так называемого «антифонного витка».

Этот «антифонный виток» выполняется в форме 1—2 витков проволоки диаметром 0,8—1 *мм*, укрепленных на держателе, позволяющем свободно поворачивать их по всем направлениям (фиг. 61). Располагая его внутри ходового механизма, находят такое положение, при котором наводки на «антифонный виток» и на воспроизводящую головку компенсируют друг друга.

Мы рассмотрели три источника шумов при магнитной звукозаписи. Непосредственно с вопросом о шумах связан вопрос о величине полезного сигнала, так как на субъективное восприятие шумов, т. е. на то, кажутся ли они нам на слух сильными или слабыми, влияет не абсолютная их величина, а отношение к величине полезного сигнала.

Если намагничивать звуконоситель при записи сильнее, больше будет э. д. с. в обмотке воспроизводящей головки и лучше будут перекрываться все перечисленные выше шумы. Таким образом, с этой точки зрения желательно полезное намагничивание звуконосителя, или, как говорят, его модуляцию, увеличивать. При этом установленную предельную величину намагничивания принимают за 100% модуляцию магнитного состояния звуконосителя.

Как же выбирается уровень 100% модуляции? Мы уже сказали, что, исходя из лучшего перекрытия шумов, желательно, чтобы этот уровень соответствовал возможно большей намагниченности звуконосителя. Однако при этом одновременно возрастает и клирфактор. Высокочастотный режим записи обладает бо́льшим линейным участком амплитудной характеристики записи по сравнению с режимом постоянного тока, но и при нем нелинейные искажения растут довольно заметно с увеличением модуляции. Поэтому вопрос решается компромиссно. Для профессиональных установок уровень записи со 100% модуляцией эталонируется специальными записями чистого тона частоты 800—1 000 *гц*. На эксплоатации при записи уровень модуляции устанавливают путем сравнения при воспроизведении с эталонной пленкой.

В любительских условиях поддержание неизменного уровня модуляции звуконосителя не столь обязательно. Практически при регулировке любительской аппаратуры усиление в усилителе записи увеличивается до такой величины, пока не возникают заметные на слух нелинейные искажения.

Искажения за счет непостоянства скорости звуконосителя

За счет несовершенства ходового механизма в скорости движения звуконосителя при записи и при воспроизведении могут происходить различные изменения. Возможны следующие основные случаи:

1. Медленное постепенное возрастание или убывание скорости во время очередной записи или воспроизведения.

2. Медленное постепенное возрастание или убывание ско-

рости во время длительного эксплоатационного срока аппарата.

3. Колебания скорости в обе стороны от номинального значения с периодом от 0,5 до 2 сек. (примерно).

4. Колебания скорости, совершаемые более быстро, с периодом порядка десятых долей секунды.

Каков же характер искажений, получающихся при этом, и что является причиной этих изменений скорости?

В первом и втором из перечисленных случаев происходит изменение тональности звучания. Если скорость изменилась в n раз, то все частоты в спектре данной записи будут изменены в n раз. Представление о слуховом впечатлении от такого искажения легко получить, если вспомнить, как звучат граммпластинки на скорости, отличной от нормальной. В хорошей аппаратуре указанное в первом и втором случаях изменение скорости не должно превышать 0,5% от номинального значения.

Третий случай хорошо известен под названием «плавания» звука. Особенно заметно такое искажение на местах записи с долговременным звучанием одной тональности, например на длительных рояльных аккордах. Рояль при этом начинает походить по звучанию на гавайскую гитару.

В четвертом случае наблюдается так называемое «расщепление звука, хорошо заметное на записи флейты или кларнета. Создается впечатление, что звук «расщепляется» на два звука, слегка отличные по частоте. Вместо одной флейты слышны как бы две звучащие в унисон.

Для того чтобы искажения, рассмотренные в третьем и четвертом случаях, практически не были слышны, надо, чтобы отношение $\frac{v_m}{v_0}$ не превышало 0,001.

Здесь v_0 — номинальное значение скорости, а v_m — величина максимального отклонения скорости от номинала.

Таким образом, всякие изменения скорости, приводящие в конечном счете к изменению частотного спектра, субъективно ощущаются как искажения звучания, различные в зависимости от характера изменения скорости.

Остановимся на причинах, порождающих изменения скорости, в том порядке, в котором они были выше перечислены:

1. Причиной медленного возрастания или убывания скорости во время текущей работы аппарата могут быть:

а) нестабильность питающей сети по напряжению или по частоте;

б) прогревание ротора у асинхронных электродвигателей и в связи с этим изменение числа оборотов;

в) недостаточный запас мощности ведущего электродвигателя и в связи с этим изменение числа оборотов в зависимости от соотношения длин звуконосителя на правой и левой бобинах, так как от этого соотношения зависит нагрузка на ведущий электродвигатель.

В связи со всем сказанным, целесообразно применять в качестве ведущего синхронный электродвигатель с асинхронным пуском.

2. Чаще всего наблюдается постепенное уменьшение скорости звуконосителя в процессе эксплоатации. Обычно причина этого — в механическом износе ряда деталей, участвующих в передаче движения от ведущего электродвигателя к звуконосителю. С целью ослабления явления такие детали, как, например, насадка на оси ведущего электродвигателя, делается каленой, а устройство, прижимающее к ней звуконоситель, снабжается достаточно сильной пружиной, исключающей возможность появления люфта.

3 и 4. Можно указать следующие причины переменных колебаний скорости:

а) эксцентриситет направляющих и ведущих узлов ходового механизма (напр., насадки на оси ведущего электродвигателя);

б) выпадение из синхронизма синхронного электродвигателя при значительном понижении напряжения сети;

в) непостоянство толщины звуконосителя;

г) возникновение периодических торможений звуконосителя из-за неисправности в каком-либо месте ходового механизма;

д) плохое выполнение зубчатой передачи в редукторе ведущего электродвигателя;

е) недостаточная мощность ведущего электродвигателя.

Меры борьбы достаточно ясны из самых причин. Дополнительно лишь укажем, что на пути движения звуконосителя в ходовом механизме устанавливают обычно ролик, на оси которого одет маховик, сглаживающий отдельные неровности в ходе пленки.

С вопросом о влиянии непостоянства скорости звуконосителя непосредственно связан и выбор номинальной величины скорости. Вопрос этот весьма существенен и достаточно сложен, поэтому при его решении следует подробно рассмотреть

все изменения, которые вносит в работу аппаратуры изменение скорости.

Вполне очевидна необходимость установления каких-то определенных стандартов скорости, так как только при этом возможен обмен записями между отдельными любителями и производство этих записей большим тиражом, подобно существующему производству граммпластинок. Совершенно необходим также стандарт скорости и для профессиональной звукозаписи. Поэтому, после разбора всех за и против, должны быть указаны определенные числовые значения.

На какие же показатели звукозаписи влияет скорость носителя? Что должно быть принято во внимание при выборе ее? Постараемся дать на это ответ, имея в виду запись на наиболее распространенном сейчас виде звуконосителя — магнитной ленте.

1. С повышением скорости увеличивается расход звуконосителя.

2. С повышением скорости повышается верхняя граница записываемых частот.

3. С повышением скорости увеличивается механический износ звуконосителя, головок и движущихся частей ходового механизма.

4. С повышением скорости увеличивается равномерность хода звуконосителя, так как возрастает действие стабилизирующих узлов ходового механизма (например, маховика).

5. Записи, сделанные с большей скоростью, удобнее монтировать, так как протяженность отдельных звуков на звуконосителе получается больше, и требуется меньшая точность в определении места, подлежащего склейке.

6. С увеличением скорости меньшее влияние имеет перекос щелей у головок, поскольку существенным является не сама величина перекоса, а отношение ее к длине волны намагничивания звуконосителя. Последняя же с увеличением скорости возрастает.

Как видно по причинам 1 и 3, скорость желательно снижать, в то время как по причинам 2, 4, 5 и 6 нужно ее увеличивать.

Найти какое-то единое компромиссное решение здесь нельзя, поскольку для различных типов аппаратуры главную роль играют различные из перечисленных причин.

В профессиональной аппаратуре, где основную роль играет качество, увеличение расхода звуконосителя и повышенный износ механизмов не играют решающей роли. Износ зву-

коносителя практически оказывается малым даже на таких скоростях, как 1,5—2 *м/сек*. Поэтому для этой аппаратуры применяется высокая скорость.

В аппаратуре, предназначенной в основном для речевых записей, например, для диспетчерской работы, для передачи информационных и рекламных сообщений, причины, указанные в п. 2, 5 и 6, становятся второстепенными. Наоборот, причины 1, 3 становятся очень важными. Для этой аппаратуры применяют поэтому низкую скорость.

Наконец, существует аппаратура, занимающая промежуточное положение. К ней относится аппаратура для выездных записей, для радиорепортажа, для любительской записи на дому. Для нее нужно установить некоторую среднюю скорость.

Мы, следовательно, приходим к выводу о целесообразности выбора трех стандартных скоростей: низкой, средней и высокой. На выбор их численных значений влияет не только техническая необходимость обеспечения определенного качества записи, но и ряд исторически создавшихся предпосылок: например, наличие большого количества записей, сделанных при определенной скорости, наличие разработанной и имеющейся на эксплоатации аппаратуры и т. д.

В результате сейчас используются следующие три значения скоростей звуконосителя:

Высокая скорость	770 *мм/сек*
Средняя скорость	456 „
Низкая скорость	180 „

Глава третья

ЗВУКОНОСИТЕЛИ

Звуконоситель играл всегда важнейшую роль в магнитной звукозаписи. Вся история ее развития за прошедшие 30—40 лет показывает, что почти каждое улучшение качества магнитной записи было связано с улучшением звуконосителя. Теперешнее состояние, когда эта система успешно вытесняет другие из ряда областей, обязано в значительной степени тому, что разработаны хорошие типы звуконосителя. Первоначально в качестве звуконосителя применялась преимущественно проволока из углеродистой стали. По мере совершенствования аппаратуры толщина ее уменьшилась до 0,1 *мм*, но, несмотря на это, катушки с записью занимали много места и были очень тяжелы, так как была велика скорость протяги-

вания проволоки. Тонкая проволока рвалась, путалась, перекручивалась во время движения. В профессиональных аппаратах проволоку стали заменять стальной лентой. Обрывы прекратились, но объем и вес звуконосителя чрезвычайно возросли. Ходовые механизмы, которые должны были протягивать эту массивную ленту с большой скоростью, получались очень громоздкими.

В одном из подобных аппаратов того времени даже было специально предусмотрено ограждение — на случай обрыва ленты: распустившись, эта своеобразная пружина могла нанести серьезное увечье.

В этот период — период ленты и проволоки из углеродистой стали — магнитная запись давала малообещающие результаты.

Вскоре после этого появился новый вид звуконосителя — так называемая магнитная пленка. На тонкую ленту, изготовленную из ацетилцеллюлозы, наносился ферромагнитный порошок, предварительно смешанный со связующим веществом (например, с нитролаком). Магнитная пленка произвела переворот в магнитной звукозаписи. Она позволила в несколько десятков раз сократить скорость звуконосителя. Новый звуконоситель легко монтировался: для этого его надо было лишь разрезать ножницами и клеить. Вес и объем магнитной пленки относительно невелики.

Вскоре и «сплошные» звуконосители стали улучшаться. На смену углеродистой стали пришли сначала нержавеющая сталь, имеющая хотя бы уже то преимущество, по сравнению с углеродистой, что она не ржавела, а затем и специальные стали и сплавы: кобальтовая сталь, вольфрамовая сталь, сеналой (Fe, Cu, Ni), викалой (Fe, Co, W) и др. Проволока из этих материалов требовала для получения записи того же качества уже не столь большой скорости, что было до тех пор основным «бичом» сплошных звуконосителей. В последние годы производилось испытание проволоки, сделанной из аустенитовой стали. По своим магнитным свойствам аустенитовая проволока не уступает магнитной пленке.

Совершенствуется и магнитная пленка. При производстве ее в качестве ферромагнитного порошка применяли до последнего времени окислы железа (например, магнетит). Сейчас разработан сплав, который также в размельченном виде наносится на основу магнитной пленки. Пленки с этим сплавом имеют почти вдвое большую отдачу и лучшие частотные свойства, чем пленки с магнетитовым покрытием.

Наряду с совершенствованием этих двух основных видов звуконосителей («сплошных» и «порошковых») недавно появился третий вид — биметаллический носитель. Он представляет собой тонкую ленту или, чаще, проволоку из немагнитного материала, например, из меди или латуни. На эту немагнитную основу гальваническим путем наносится тонкий слой ферромагнитного сплава (обычно никель-кобальтового). Такой звуконоситель позволяет применять весьма высококачественные в магнитном отношении сплавы, из которых непосредственное изготовление проволоки или невозможно, или очень затруднительно по производственным соображениям.

Таким образом, имеются три типа звуконосителей для магнитной записи звука:

1. Сплошные носители.
2. Порошкообразные носители.
3. Биметаллические носители.

Все они продолжают совершенствоваться и успешно конкурируют друг с другом в зависимости от специальных требований, предъявляемых к ним.

Чтобы оценить и сравнить их, рассмотрим основные требования, которым они должны, по возможности, удовлетворять.

1. Магнитные свойства. Как и для всякого ферромагнетика, для магнитного звуконосителя можно назвать два основных показателя его магнитных свойств: остаточную индукцию B_r и коэрцитивную силу H_c. Проследим, как влияет изменение этих двух величин на качественные показатели записи.

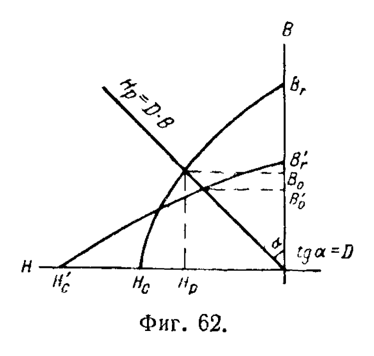
С увеличением B_r растет поле, окружающее носитель после записи, тем самым увеличивается э. д. с., наводимая в обмотке воспроизводящей головки — растет, как говорят, отдача носителя. Такой „громкий" носитель обеспечивает хорошее перекрытие шумов первой лампы усилителя воспроизведения и соответственно возможность большого динамического диапазона записи. Однако пропорциональность отдачи носителя значению B_r сохраняется лишь на низких и средних частотах. На высоких частотах, где, как указывалось ранее, длина отдельных полуволновых областей намагничивания звуконосителя становится соизмеримой с размерами его поперечного сечения, важную роль начинает играть саморазмагничивание, ослабляющее в сильной мере отдачу. На фиг. 62 приведена так называемая кривая размагничивания звуконосителя, представляющая собой часть максимальной петли гистерезиса, расположенную между точками B_r и H_c.

Если бы поле саморазмагничивания отсутствовало (что в известной степени имеет место на средних низких частотах), то индукция носителя, доведенного в момент записи до насыщения, определилась бы значением B_r.

Сила размагничивающего поля пропорциональна индукции в носителе

$$H_p = D \cdot B.$$

Коэффициент D носит название коэффициента размагничивания и зависит от соотношения длины магнита к размерам его поперечного сечения. В магнитной звукозаписи таким магнитом является область однонаправленного намагничивания звуконосителя, равная $\lambda/2$. Чем выше записанная частота, тем больше величина D и сильнее размагничивающее поле.



Фиг. 62.

На фиг. 62 проведена также прямая, изображающая зависимость силы размагничивающего поля от индукции. Равновесной точкой магнитного состояния звуконосителя будет, очевидно, точка пересечения этой прямой с кривой размагничивания. Истинное значение индукции B_0 будет значительно меньше максимально возможной величины B_r. По мере увеличения частоты наклон прямой $H_p = DB$ возрастает, точка пересечения перемещается вниз, и индукция в звуконосителе падает.

На средних и низких частотах, когда $\frac{\lambda}{2}$ велико, величина коэффициента D незначительна, и точка равновесного магнитного состояния лежит весьма близко к точке B_r, почему и остается справедливым сделанное ранее заключение о пропорциональности отдачи звуконосителя на низких частотах значению B_r.

Если при построении фиг. 62 коэффициент D был вычислен для верхней частоты рабочего диапазона, то нетрудно найти „завал" частотной характеристики, вызванный явлением саморазмагничивания: отдача на средних частотах пропорциональна B_r; отдача высшей частоте пропорциональна B_0; отсюда

$$M_в = \frac{B_0}{B_r}.$$

На той же фигуре изображена кривая размагничивания другого звуконосителя, имеющего другие значения величин B_r и H_c — B'_r и H'_c.

Проведя аналогичные рассуждения для нового носителя, придем к выводу, что понижение индукции (т. е. и отдачи) на высшей частоте из-за саморазмагничивания здесь значительно меньше, чем у первого носителя, так как различие величин B'_r и B'_0 значительно меньше, чем B_r и B_0. Прямая $H_p = DB$ взята в обоих случаях одна и та же, что соответствует одной и той же верхней частоте рабочего диапазона и одинаковой конфигурации обоих звуконосителей.

Из сопоставления обоих носителей можно сделать следующее заключение.

Понижение отдачи на высоких частотах вследствие явления саморазмагничивания тем меньше, чем более полого идет кривая размагничивания, т. е. чем больше отношение H_c/B_r.

Таким образом, звуконоситель должен иметь не только достаточно большое значение B_r, но и возможно большее отношение H_c/B_r.

Первое условие менее обязательно, так как в некоторых пределах недостаточность значения B_r можно компенсировать увеличением поперечного сечения звуконосителя. Второе же играет основную роль в тех требованиях, которые мы предъявляем к магнитным свойствам звуконосителя, особенно предназначенного для записи широкого диапазона частот. Для нормальных носителей H_c/B_r должно быть не менее 0,1. У лучших образцов эта величина достигает 0,5. С увеличением отношения H_c/B_r становится возможным уменьшать скорость звуконосителя. При этом, как известно, длина волны записанного на носитель сигнала уменьшается ($\lambda = v/f$, где v — скорость носителя), что должно увеличить коэффициент размагничивания D. Но это само по себе не опасно, если кривая размагничивания идет полого. Носители с большей коэрцитивной силой H_c лучше хранятся и транспортируются, так как меньше подвержены влиянию внешних магнитных полей, толчков и т. п., но зато они, как правило, и хуже размагничиваются при стирании. Для таких носителей приходится увеличивать высокочастотные токи стирания и подмагничи-

вания, повышая мощность соответствующих высокочастотных генераторов.

Со стороны магнитных свойств к звуконосителю предъявляется также требование соблюдения постоянства этих свойств по всей длине носителя. Кроме того, желательна мелкозернистость структуры носителя, так как это является одним из условий малого шума на записи. Хорошие носители имеют размер зерен $< 1\mu$.

2. *Механические свойства.* Звуконоситель должен быть прочным и не рваться при движении через аппарат. Даже в хорошо отрегулированном ходовом механизме в моменты пуска и остановки в звуконосителе могут возникать усилия до 1 *кг*. Имея в виду некоторый запас прочности, следует признать минимальным разрывное усилие звуконосителя в 2 *кг*, а для профессиональной аппаратуры — 3,0 *кг*.

Большую опасность представляет собой растяжение носителя. При воспроизведении в растянутых местах будет меняться тональность звучания, что создаст хорошо известный эффект «плавания» звука. Можно предположить, что местное растяжение в 0,5%, при усилии, соответствующем рабочим усилиям в ходовом механизме, еще не ощутимо на слух.

Механическая однородность звуконосителя, т. е. постоянство размеров его сечения по всей длине, должна быть возможно бо́льшей. Мелкие неоднородности (как, например, шероховатость поверхности) вызывают появление дополнительного шума, более крупные могут привести к неравномерности хода носителя, неплотному прилеганию его к головкам, что создаст паразитную модуляцию на записи. Кроме того, чем больше неоднородность поверхности носителя, тем больше механический износ головок в аппарате. Для несплошных носителей (т. е. для порошкообразных и биметаллических), где рабочий слой в большинстве случаев тем или иным способом нанесен на основание, дополнительным требованием является механическая крепость сцепления рабочего слоя с основанием, так как иначе возникает опасность, что в процессе эксплоатации, например при многократном воспроизведении записи, рабочий слой сотрется с основы и запись пропадет.

Существующие в настоящее время хорошие сорта порошкообразных носителей (магнитных пленок) допускают тысячи прогонов через аппарат без заметного стирания или отслаивания рабочего слоя.

По литературным данным, отдача магнитной пленки после

100 000 проигрываний уменьшается за счет истирания рабочего слоя лишь на 5—6 *дб*.

3. Эксплоатационные показатели. Целый ряд требований предъявляется к звуконосителю в отношении удобства работы с ним:

а) Минимальный вес и объем носителя. Обычно указывается так называемый удельный вес и объем записи, т. е. вес и объем данного носителя в количестве, необходимом для 1 часа записи.

б) Негорючесть, или, по крайней мере, малогорючесть,

в) Удобство обращения с носителем на аппарате, а также удобство транспортировки носителя. Носитель не должен путаться, рассыпаться при переноске и т. д.

г) Отдельные куски носителя должны легко соединяться между собой. Места соединений не должны представлять из себя препятствий для прохождения носителя через аппарат, а также не должны прослушиваться на слух при воспроизведении. Это требование особенно важно, когда предполагают широко использовать монтаж записей.

д) Носитель должен быть устойчив в хранении. Хороший носитель не должен заметно изменять своих магнитных и механических свойств в течение многих лет.

е) Цена носителя должна быть возможно меньше. В отдельных случаях, например, для любительской записи на дому, это обстоятельство может быть решающим.

Переходим к описанию различных звуконосителей.

1. Проволока из углеродистой стали. Содержание углерода колеблется в разных сортах от 0,1 до 1,5%. Повышение примеси углерода улучшает магнитные свойства проволоки как звуконосителя, но при этом увеличивается и хрупкость ее. Применялись проволоки с диаметром от 0,1 до 0,5 *мм*. Магнитные свойства ее очень плохие: $B_r = 8\,000 \div 10\,000$ *гс*; $H = 15 \div 30$ эрстед, что соответствует $\frac{H_c}{B_r} = 0{,}003$. Естественно, что за счет саморазмагничивания падение отдачи этой проволоки на высоких частотах очень велико. Как меру борьбы с этим, применяли утоньшение проволоки и увеличение ее скорости, так как оба мероприятия повышают отношение $\frac{\lambda/2}{\text{Размер поперечного сечения носителя}}$ в благоприятную сторону. Однако, проволока тоньше 0,1 *мм* неудобна, так как становится уже плохо видимой и при порывах путается. Утолщение проволоки компенсировалось увеличением скорости. Аппарат

с полосой пропускания всего до 5 000 *гц* требовал уже колоссальной скорости проволоки — 10 *м/сек*.

Ввиду плохих магнитных качеств углеродистая сталь в настоящее время не используется в качестве звуконосителя, за исключением старых аппаратов, сохранившихся еще в некоторых местах.

2. *Проволока из спецсталей и сплавов.* Для улучшения магнитных свойств стали применять проволоку из различных специальных сталей. Из них можно назвать: нержавеющую сталь, вольфрамовую сталь, кобальтовую сталь, сеналой (железо-медь-никель), викалой (железо-кобальт-ванадий).

Различные сорта этих проволок давали значительно большую коэрцитивную силу (до 250 эрстед), чем у углеродистой стали при остаточной индукции примерно того же порядка, т. е. $B_r = 8\,000 \div 10\,000$ *гс*, что соответствовало $\frac{H_c}{B_r} \approx 0{,}035$. Хотя это отношение в 10 раз лучше, чем у углеродистой стали, но все же далеко от того желаемого значения, которое приводилось ранее.

Дальнейшее повышение величины H_c требовало дорогостоящих примесей, что резко увеличивало цену носителя. Снизить величину B_r тоже не удавалось. Задача была сложна еще и тем, что надо было не просто получить материал с надлежащими H_c и B_r, но и требовалась возможность изготовить из этого материала проволоку-звуконоситель.

Поскольку при подборе материала желательно повышать H_c и понижать остаточную индукцию B_r, получается в известной степени парадокс: для магнитной звукозаписи лучшие результаты даст материал со слабо выраженной способностью намагничиваться (малое B_r). Все же перечисленные стали не соответствуют этому условию.

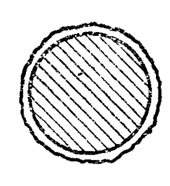
Хороший результат дала аустенитная нержавеющая сталь. В зависимости от режима в процессе производства она дает значения B_r до 7 000 *гс* и H_c до 400 эрстед.

Один из выпускаемых сортов аустенитной проволоки имеет по фирменным данным $B_r = 600$ *гс* и $H_c = 300$ эрстед, т. е. обеспечивает хорошее значение $\frac{H_c}{B_r} = 0{,}5$. Механическая крепость ее удовлетворительна: при диаметре 0,1 *мм* разрывное усилие составляет примерно 1,5 *кг*.

3. Биметаллические носители. Основная целесообразность этого вида носителей заключается в возможности применять сплавы с хорошими (с точки зрения звукозаписи) магнитными свойствами: непосредственное изготовление тонкой проволоки из таких сплавов невозможно. Обычная медная проволока, идущая как основа этого носителя, обладает хорошей гладкой поверхностью. В сочетании с равномерным мелкозернистым покрытием — рабочим слоем — это дает большую однородность носителя как магнитную, так и механическую. Само изготовление биметаллического носителя проще, чем изготовление тонкой проволоки из спецстали.

Процесс производства состоит в том, что медная (или бронзовая) проволока непрерывно протягивается через гальваническую ванну, где и происходит процесс отложения на ней рабочего слоя. На фиг. 63 показан поперечный разрез одного биметаллического носителя. Рабочий слой из никель-кобальта имеет толщину 7μ. Магнитные данные $H_c = 300$ эрстед, $B_r = 6\,500$ *гс*.

Как видно, данные лучше, чем у спецсталей. Вес и цена биметаллического носителя меньше, чем сплошного при одинаковом качестве. Биметаллический носитель может изготавливаться и на основах другой формы. Можно применять, например, ленту, диски, цилиндры и гальванически покрывать их рабочим слоем. Возможно, что это представит удобства для какой-либо спецаппаратуры.



Фиг. 63.

Во всех перечисленных выше носителях, имеющих внешне форму проволоки, для соединения отдельных отрезков применяется два способа: сварка и связывание узлом. При такой тонкой проволоке, как 0,1 *мм,* часто бывает возможным производить «сварку» на огне от спички. Если применяется связывание, то записывающий аппарат должен быть приспособлен для беспрепятственного прохождения мимо головок образующихся узлов. Обычно, однако, хорошо сделать это не удается и на слух места соединений слышны. Трудность соединений проволочных носителей является их крупным недостатком.

4. Магнитная пленка. Если какой-либо ферромагнитный материал превратить в мелкий порошок и перемешать с механически связующим диэлектриком, так, что отдельные ферромагнитные частицы окажутся изолированы друг от друга как в магнитном, так и в электрическом отношениях —

получится так называемый магнитодиэлектрик. Магнитодиэлектрики широко применяются в технике, главным образом как сердечники в высокочастотных катушках. Широко известны, например, такие сердечники в контурах радиоприемных устройств. Это применение обусловлено наличием малых потерь в высокочастотных полях, в магнитодиэлектриках, по сравнению со сплошными сердечниками. Но у магнитодиэлектриков есть и другое свойство, делающее их особо ценными для магнитной звукозаписи: по сравнению с исходным ферромагнитным материалом магнитодиэлектрики обладают меньшим значением B_r при почти неизменном значении H_c. Следовательно, отношение $\frac{H_c}{B_r}$ у них больше, а это, как мы знаем, один из решающих показателей звуконосителя.

Для того чтобы хотя частично скомпенсировать уменьшение отдачи порошкообразного звуконосителя, происшедшее вследствие уменьшения величины B_r, увеличивают его поперечное сечение. Предел здесь ставится невозможностью получить равномерный полив слишком толстого слоя и возникающими при толстом слое дополнительными частотными искажениями (см. главу 1), а также невозможностью применять слишком широкие ленты: не говоря о том, что они, обладая большей упругостью, будут хуже протягиваться через аппарат, малейший перекос ленты относительно головок вызовет ослабление высоких частот (см. главу 2).

У нас, в Советском Союзе, применяется несколько сортов звуконосителей, основанных на магнитодиэлектрическом принципе. Первый из них — это магнитная пленка типа С. Представляет она из себя следующее: на узкую ацетилцеллюлозную ленту (основу) шириной 6,5 *мм* и толщиной 35 μ нанесен рабочий слой магнитодиэлектрика толщиной в 15 μ. Магнитодиэлектрик составлен из порошкообразного магнетита Fe_3O_4 (черная пленка) или окиси железа Fe_2O_3 (коричневая пленка), разведенных в нитролаке. Процентное содержание магнетита по объему колеблется около 40%. Этот магнитодиэлектрик в жидком виде наносится на основу и после высыхания оказывается крепко сцепленным с нею.

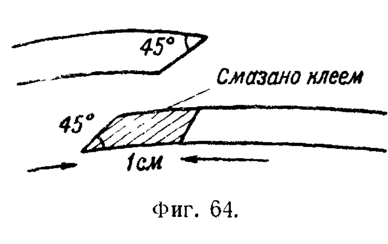
На пленочных фабриках магнитная эмульсия отливается вместе с ацетилцеллюлозной основой (поверх ее) на специальных т. н. отливочных машинах, причем изготавливается сразу широкая (60 *см*) лента, которая впоследствии режется на узкие 6,5 *мм* полосы.

Магнитные параметры пленки колеблются в пределах $H_c = 80 \div 250$ эрстед и $B_r = 400 \div 800$ *гс*, что дает возможность получить отношение $\frac{H_c}{B_r}$, равное 0,5. Такая большая величина этого отношения позволяет сильно сократить скорость пленки. Это, в свою очередь, сокращает эксплоатационные расходы, вес носителя на 1 час звучания, и увеличивает время непрерывной записи на одном аппарате.

Для записи на магнетитовую магнитную пленку частотного диапазона, ограниченного верхней частотой $f_{макс}$, минимально необходимые скорости имеют приблизительно следующие значения:

$f_{макс}$, *гц*	$v_{мин}$, *см/сек*
3 000	18
6 000—8 000	45,6
9 000—12 000	77

Как видно, при применении магнитной пленки большие удобства создаются, с одной стороны, для аппаратов с ограниченной полосой пропускания и, с другой стороны, становится возможным осуществление широкополосной высококачественной записи при сравнительно небольшой скорости.



Фиг. 64.

Благодаря мелкому помолу магнитного порошка (размер зерен колеблется в пределах от 0,1 до 5 μ) можно добиться малого шума. Интересно отметить, что этот шум при повторном проигрывании записи становится меньше, так как шероховатость поверхности пленки сглаживается и носитель делается более однородным.

Механическая прочность пленки С несколько недостаточна для профессиональной аппаратуры, ее разрывное усилие равно 2,1—3 *кг*. Достоинством является малое растяжение этой пленки.

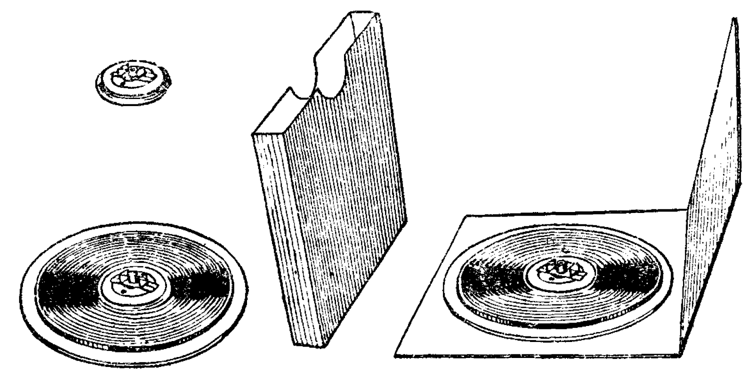
Монтируется пленка просто: два куска, подлежащие соединению, обрезаются ножницами под углом 45° (фиг. 64) и одна из пленок смазывается клеем, после чего пленки складываются и сжимаются пальцами до просыхания места склейки.

Для склейки можно применять киноклей, однако хорошие результаты получаются только при применении спецклея, который можно изготовить по одному из следующих рецептов:

1. Нитропленка (от кинофильма) . . . . 10 *г*
   Ацетон . . . . 480 "
   Метилглюкольацетат . . . . 550 "
2. Метилацетат . . . . 25 "
   Метанол . . . . 25 "
   Ледяная уксусная кислота . . . . 25 "
   Метилглюкольацетат . . . . 25 "

Второй рецепт используется в профессиональной практике.

Чистая пленка или пленка с записью наматывается на круглый вкладыш (называемый бобышкой) из железа, пластмассы или картона и в виде туго смотанного рулона вкладывается в картонный пакет для хранения (фиг. 65). Следует следить за тем, чтобы намотка была тугой, так как иначе рулон может при вынимании из пакета развалиться. Недопустима также ребристая, неровная намотка рулона. Выступающие края пленки могут получить механические повреждения— смятости или надрывы, в результате чего прочность пленки сильно уменьшится и впоследствии может произойти обрыв ее в аппарате. Новый рулон пленки С имеет диаметр примерно 25 *см* и содержит 1 000 *м* пленки.



Фиг. 65.

Пленка лучше всего сохраняется при температуре 15—20°C и при относительной влажности воздуха 50—60%. Хранение при большей температуре или в более сухом воздухе н е д о п у с т и м о, так как ведет к высыханию основы пленки, пленка делается хрупкой и рвется при движении. Опасна и слишком влажная атмосфера; пленка в ней набухает и коробится. В результате она неравномерно протягивается в аппарате, прояв-

ляет тенденцию при движении смещаться вверх и вниз, плохо прилегает к головкам.

Для хранения можно использовать деревянный шкаф с полками, на которых на ребро укладываются пакеты с пленками. Шкаф должен быть защищен от солнечных лучей и расположен возможно дальше от отопительных приборов. Надо также проследить, чтобы вблизи от пленок не было источников сильных магнитных полей (силовой кабель, трансформаторы, радиоприемники, динамики и т. д.).

Другой сорт пленки, встречающийся у нас в небольшом количестве, это тип Т. Отличается он от пленки С тем, что для повышения механической прочности в нем применена (по предложению С. И. Любомилова) основа из триацетата. Рабочий же слой и, следовательно, магнитные качества были оставлены почти без изменения. Механические свойства пленки Т хорошие — разрывное усилие составляет 3,2—3,5 *кг*. За счет большей толщины полный ролик содержит только 800 *м* пленки Т.


Двухслойная пленка


Однослойная пленка

Фиг. 66.

Разрабатывается производство магнитной пленки на бумажной основе. Работу в этой области ведет Всесоюзный научно-исследовательский институт звукозаписи. Выгода применения бумаги состоит в ее низкой цене по сравнению с пластмассами. Кроме того, можно подобрать такие сорта бумаги, что звуконоситель получит улучшенные механические свойства; разрывное усилие может доходить до 6 *кг* при почти полном отсутствии растяжения. Рабочий слой в бумажной ленте такой же, как и в пленках на пластмассовой основе, хотя наносится он несколько другим способом.

Отличной от описанных сортов магнитной пленки является пленка типа Л, также встречающаяся у нас в эксплоатации. При изготовлении ее ферромагнитный порошок не наносится на основу, а смешивается с нею. В качестве основы берут полихлорвинил. Эта смесь прокатывается в вальцах до получения тонкой ленты. После охлаждения она режется на стандартные 6,5 *мм* полоски. На фиг. 66 показаны сравнительные строения двухслойных пленок (С,Т) и однослойной, каковой является пленка Л. Как видно, в ней отдельные зерна магнетита распределены по всей толще пленки и изолированы друг от друга хлорвиниловой смолой. Меньшая концентрация

ферромагнитного порошка в пленке Л является причиной того, что отдача ее примерно на 6 *дб* (т. е. в 2 раза) меньше, чем у пленки С. Также несколько хуже и частотные свойства пленки Л. Повидимому, это объясняется тем, что в ней, как имеющей почти вдвое большую толщину рабочего слоя, чем у пленки типа С, сказывается так называемый эффект проникновения (см. главу 2), создающий завал высоких частот. Однако, пленка Л имеет и значительные преимущества.

Во-первых, благодаря большой гладкости полированной поверхности и равномерности распределения магнитного порошка внутри основы, пленка Л обладает ничтожным собственным шумом.

Во-вторых, она очень прочна на разрыв (разрывное усилие равно примерно 4,5 *кг*). К сожалению, пленка Л сильно растягивается. Поэтому, если в записывающем аппарате почему-либо возникают большие силы, действующие на пленку, применять пленку Л для таких записей, которые «боятся» растяжений, из-за появления плаваний не рекомендуется.

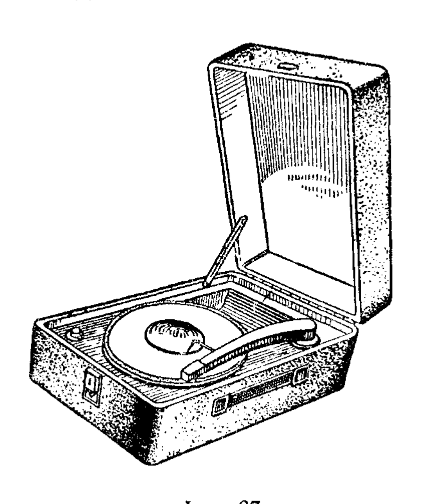
В-третьих, как указывалось ранее, пленка Л меньше подвержена влиянию копирэффекта.

По внешнему виду пленку Л легко отличить: цвет ее коричневато-розоватый, обе стороны ленты гладкие, глянцевые. Обе они являются рабочими сторонами. В пленках же С, Т и вообще пленках двухслойного типа одна сторона глянцевая, а вторая, на которой нанесен рабочий слой, — матовая. Правда, при большом количестве проигрываний рабочая сторона двухслойной пленки полируется и приобретает глянец, но различие внешнего вида обеих сторон все же остается.

5. Специальные формы звуконосителей. Совершенно не обязательно придавать магнитному звуконосителю форму нити (проволоки) или ленты.

Можно, например, применить хорошо известную по граммпластинкам форму диска и осуществить магнитную запись на диск. Надо сказать об особенностях, присущих записи на диск (независимо от системы записи): во-первых, поскольку диск приводится во вращение с постоянной угловой скоростью, т. е. с постоянным числом оборотов в секунду, скорость перемещения звуконосителя относительно рекордера (записывающего прибора) или адаптера (воспроизводящего прибора) будет в разных местах диска различна. Ближе к краю, где длина окружности диска больше, линейная скорость будет тоже больше, к центру линейная скорость уменьшается. Известно, что скорость звуконосителя сильно влияет на качество записи.

Больше скорость — лучше и запись. Следовательно, качество записи на диск различно в разных его частях, а именно: с приближением к центру запись ухудшается. Это, несомненно, недостаток диска по сравнению с звуконосителем в форме нити или ленты. При записи на диск обязательно наличие так называемого смещающего механизма, благодаря которому осуществляется нанесение спиралеобразной звуковой дорожки. Для получения хорошего качества записи этот механизм должен быть довольно сложным. Это второй недостаток диска. Но есть у диска и одно эксплоатационное преимущество — не требуется перемотка звуконосителя, как это имеет место при нити и ленте. Запись на диске всегда готова для воспроизведения с любого ее места.

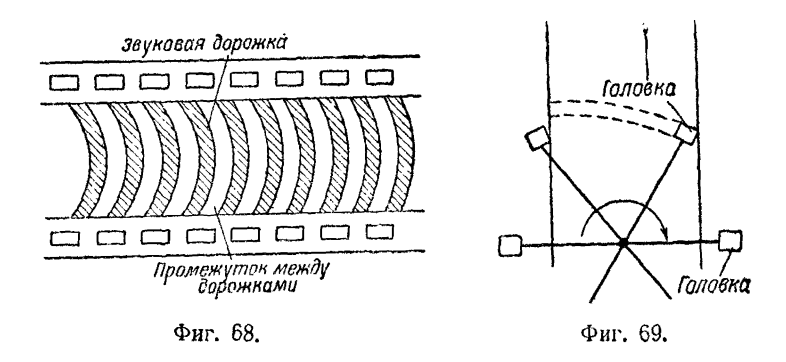


Фиг. 67.

Дисковая запись несомненно больше подходит для механической системы записи, так как при этом звуковая канавка не только является «носителем» записи, но и нужным образом «ведет» адаптер, осуществляя роль смещающего механизма. В магнитной же записи звуковая дорожка не оставляет механических следов, и поэтому запись на диск потребует смещающего механизма не только при записи, но и при воспроизведении. Тем не менее аппараты для магнитной записи на диск разработаны. На фиг. 67 показан внешний вид такого аппарата. Магнитные диски делаются так же, как и пленка, путем нанесения магнитного порошка на гибкую основу.

Можно изготавливать и двухсторонние диски, у которых рабочий слой нанесен на обе стороны. Для смещения в аппарате, показанном на фиг. 67, применяется стальной диск, прижимающий звуконоситель в центре, с нанесенной спиралеобразной бороздкой. По этой бороздке перемещается направляющая игла, жестко связанная с рабочим тонармом. На конце тонарма располагается головка записи, она же служит и для воспроизведения. Ширина звуковой дорожки (соответ-

ствующая ширине головки записи) равна 0,35 *мм*, расстояние между краями дорожек 0,275 *мм* (16 дорожек на 1 *см*). Размер магнитного диска: наружный диаметр рабочей поверхности 210 *мм*, внутренний—140 *мм*. При скорости вращения 20 об/мин время записи на одной стороне такого диска 3 минуты. Для увеличения времени записи можно уменьшить скорость вращения, сузить звуковую дорожку или расстояние между дорожками. Однако все это вряд ли осуществимо без заметного ухудшения записи, так как в первом случае падает линейная скорость звуконосителя и сужается частотный диапазон записи, во втором снижается отдача носителя и больше сказываются шумы усилителя воспроизведения, в третьем возрастают перекрестные помехи между дорожками, создающие эффект эхо.



Фиг. 68. Фиг. 69.

Другой специальной формой звуконосителя является носитель, применяемый для так называемой **строчной** записи. Принцип строчной магнитной записи, разработанной И. С. Рабиновичем, заключается в следующем: на широкую магнитную ленту (см. фиг. 68) звуковая дорожка наносится в форме следующих друг за другом отрезков дуг. Для нанесения такой дорожки ленте сообщается поступательное движение вперед с небольшой скоростью (фиг. 69), а набору головок вращательное движение. Каждая головка прочерчивает на пленке одну дугу. Как только одна головка сходит с пленки, следующая начинает с противоположного края описывать новую дугу. Электрически все головки соединены и питаются при записи от общего усилителя. Для воспроизведения такой записи нужно, очевидно, «прочесть» последовательно одну за другой все упомянутые дуги, составляющие отдельные части

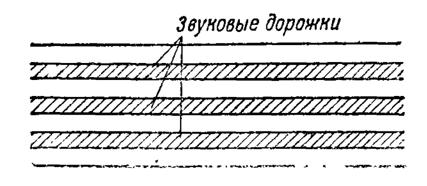
общей звуковой дорожки записи. Это можно осуществить с помощью того же набора головок, который использовался на записи. Отдельные головки при этом соединяются последовательно и подключаются к усилителю воспроизведения.

Строчная запись имеет ряд преимуществ. Благодаря тому, что в ней рабочее движение создается движением самой головки относительно звуконосителя, поступательная скорость пленки может быть сделана ничтожной, порядка 1—2 *см/сек.*

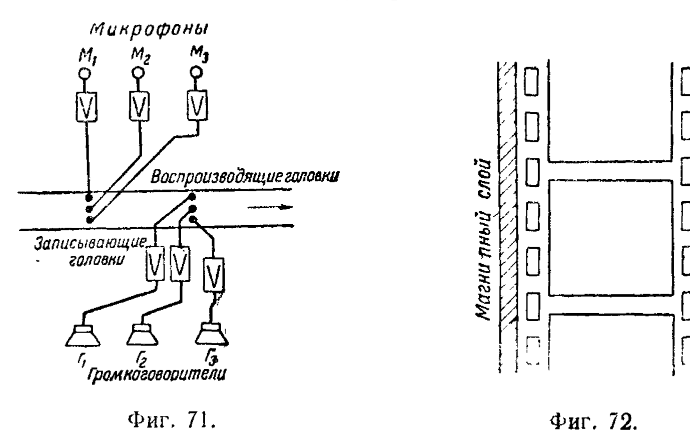
Благодаря малой скорости пленки она мало изнашивается, вероятность обрыва почти исключена. Расход пленки (в метрах) на час звучания весьма мал. Поэтому становится возможным строить аппараты, рассчитанные на непрерывную часовую и многочасовую запись. Если склеить пленку в небольшое кольцо и произвести на нее запись, то при воспроизведении мы получим при каждом новом обороте кольца повторение записанного. Это удобно для организации службы информации, оповещения, рекламы, когда необходимо повторять одно и то же сообщение в течение длительного промежутка времени. Низкая скорость пленки создает преимущества в построении по строчному принципу специальных диктовальных аппаратов. Эти аппараты предназначены для того, чтобы записанный при помощи их на пленку текст мог по частям, а при необходимости и с повторением, воспроизводиться (диктоваться) для перепечатывания на пишущей машинке. Пленка для строчной записи изготавливается обычными методами и имеет формат 35 *мм* кинопленки. Удобным в данном случае является наличие перфорационных отверстий в кинопленке, при помощи которых осуществляется поступательное движение пленки.

Эффектные результаты дает строчная запись на лист, предложенная также И. С. Рабиновичем. На лист из тонкой пластмассы (например, ацетилцеллюлозы) или бумаги наносится слой магнитного порошка. В специальном аппарате на полученный звуконоситель производится строчная запись так же, как это было показано на фиг. 68. Нетрудно понять, что время записи на листе весьма значительно. Для одной стороны нормального писчего листа оно составит, примерно, 10 минут. Благодаря большой ширине листа поступательная скорость его еще меньше, чем при применении 35-*мм* магнитной пленки. Записи на листе весьма удобны в хранении. Их можно складывать пачками в папку, подшивать в скоросшиватель, делать на обратной стороне карандашные заметки и т. д.

Если звуковые дорожки располагать на широкой магнитной ленте не поперек, как это делается в описанной выше строчной записи, а вдоль (фиг. 70), то можно вести несколько параллельных записей. Это дает ряд интересных возможностей. Например, по схеме, показанной на фиг. 71, можно осуществить многоканальную объемную запись (так называемую стереофоническую запись) и последующее воспроизведение звука, с сохранением пространственной перспективы. В сочетании с высоким качеством магнитной записи стереофоничность звучания создает полное впечатление натурального звука, исходящего от «невидимых» исполнителей. Ясно чувствуется всякое перемещение исполнителя по сцене при записи, отчетливо выделяются по расположению отдельные группы инструментов оркестра. Стереофоническая звукозапись на



Фиг. 70.



Фиг. 71.

Фиг. 72.

магнитную пленку была впервые продемонстрирована в в 1947 году И. Е. Горон в помещении Московского Дома звукозаписи.

В настоящее время рассматривается вопрос о внедрении магнитной записи в производство кинофильмов. Возможно заменить в кинофильме оптическую звуковую дорожку магнитной, для чего на один край киноленты наносится магнит-

ный порошок. Такая форма магнитного звуконосителя показана на фиг. 72. Однако, по всей вероятности, магнитная запись в кинематографии найдет применение лишь на промежуточных стадиях производства кинофильмов, например, при репетиционной работе и при съемках, а в выпускаемых фильмах (в так называемой массовой печати) останется попрежнему оптическая звуковая дорожка, так как сама система оптической звукозаписи весьма родственна с фотохимическим процессом получения изображения и удобнее поэтому магнитной системы в производственном отношении.

В заключение остановимся на выборе звуконосителя для любительской звукозаписи.

1. Проволока. Вряд ли удастся достать проволоку из специальных сортов стали. Обычная же проволока дает очень невысокое качество записи, и поэтому данный вид звукозаписи не может быть рекомендован.

2. Биметаллический носитель. Ввиду того, что он у нас пока широко не производится, применение его возможно лишь при условии самостоятельного изготовления. Работа представляет определенный интерес, так как опыт по этим носителям еще не накоплен, но рекомендовать это можно только для опытных любителей, достаточно поработавших с магнитной звукозаписью и хорошо знакомых с процессом гальванического отложения металлов.

3. Порошкообразный носитель (магнитная пленка). Это лучший вид носителя для первых работ по звукозаписи на дому. Возможность достать фабричную пленку имеется, так как вообще она у нас в стране широко применяется. С пленкой легче всего построить хороший аппарат, а это много значит, так как всякий успех на первых стадиях стимулирует будущую работу.

Глава четвертая

АППАРАТУРА МАГНИТНОЙ ЗВУКОЗАПИСИ

В различных организациях и предприятиях находят применение многочисленные аппараты магнитной звукозаписи промышленного изготовления. Производство их у нас в стране длится уже несколько лет.

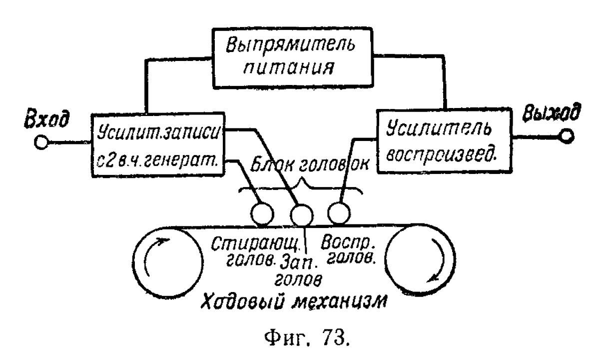
Наиболее известны аппараты СМ-45, МАГ-2, МАГ-800, МАГ-4. Подготавливается выпуск новых типов аппаратуры магнитной звукозаписи.

Промышленный выпуск магнитных звукозаписывающих аппаратов еше проходит стадию выработки стандартов, норм и типовой аппаратуры. Поэтому привести описание какого-либо образца с рекомендацией, произвести копирование его в любительских условиях пока нельзя. Может быть, наоборот, плодотворная работа любителей создаст достаточно хорошую конструкцию, которая будет принята в производство. Область для изысканий и творчества здесь очень широкая.

С целью облегчить самостоятельное конструирование, ниже приводится описание профессионального аппарата. Этот аппарат не лишен своих недостатков; на некоторые из них указывается в описании. Тем не менее, показ «живой» практической схемы и конструкции поможет как осознать сущность физических процессов, изложенных в первых главах, так и приступить к практической работе.

Профессиональный аппарат для магнитной записи звука

На фиг. 73 изображена скелетная схема аппарата. Из нее видно, что аппарат состоит из пяти основных частей:



Фиг. 73.

а) Усилитель записи с высокочастотными генераторами для стирания и подмагничивания.

б) Усилитель воспроизведения.

в) Выпрямитель для питания обоих усилителей.

г) Ходовый механизм, осуществляющий передвижение пленки.

д) Блок головок, содержащий стирающую, записывающую и воспроизводящую головки.

Записываемый сигнал подводится к входу усилителя за-

писи либо от предварительного усилителя, либо с линии или с выхода радиоприемника. В усилителе записи производится преднамеренное искажение формы частотной характеристики в виде подъема усиления на высоких частотах. Необходимость этого была указана ранее (глава 2). Выход усилителя соединен с обмоткой записывающей головки, к которой одновременно подключается и специальный высокочастотный генератор, создающий подмагничивание магнитной пленки во время записи. Второй высокочастотный генератор, смонтированный вместе с усилителем записи, питает стирающую головку. Усилитель воспроизведения осуществляет как предварительное усиление, так и коррекцию частотных искажений, внесенных предыдущими элементами скелетной схемы. Питание обоих усилителей и двух высокочастотных генераторов производится от общего выпрямителя. При воспроизведении, во избежание размагничивания записи, анодное питание снимается с усилителя записи и обоих генераторов. Рабочий ход пленки вперед при записи и воспроизведении, а также обратная перемотка, осуществляется ходовым механизмом.

Вся установка питается от однофазной сети переменного тока 220 *в*, 50 *гц*. Мощность, потребляемая комплектом, показанным на фиг. 73, составляет примерно 350 *вт*. Входное напряжение в аппарате равно 1,5 *в*, выходное—100 *мв*.

Качественные показатели при применении пленки типа С следующие: полоса пропускания от 50—10 000 *гц* с отклонениями частотной характеристики от прямой не более ± 2 *дб*, клирфактор на средней частоте, при максимально полезном сигнале 2,5%. Уровень шумов аппарата, считая весь комплект в целом со звуконосителем, не более—40 *дб* относительно максимально полезного сигнала. Ходовый механизм дает довольно равномерное протягивание пленки: при скорости 77 *см/сек* постоянство ее достигает 0,1 — 0,2%.

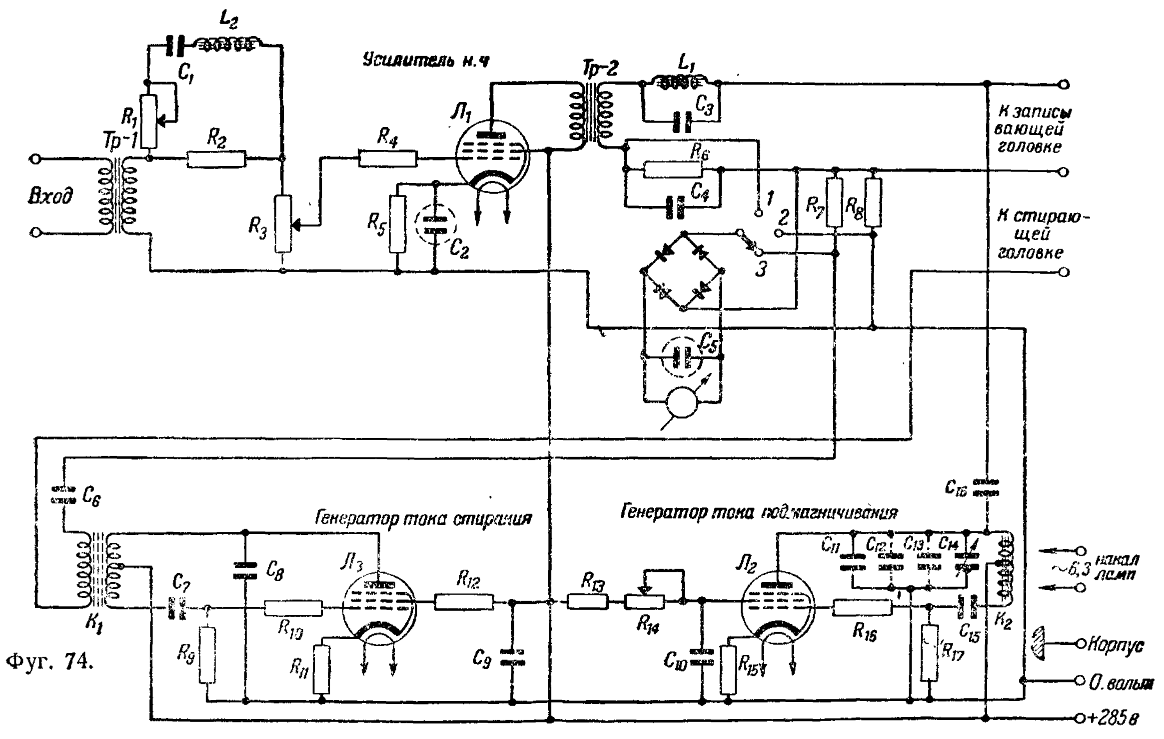
Для более подробного ознакомления с аппаратом перейдем к детальному описанию его по элементам скелетной схемы.

А. Усилитель записи. На фиг. 74 приведена его принципиальная схема.

Как видно из нее, усилитель состоит из трех частей:

1. Оконечный усилитель низкой частоты на лампе 6П6Б, нагруженный на записывающую головку и питающий ее токами звуковой частоты

2. Генератор высокочастотного тока подмагничивания на лампе 6П6Б, питающий также записывающую головку.



Фуг. 74.

$Л_1$, $Л_2$—лампы 6П6Б; $Л_3$—лампа 6П3Б; *Тр*-1—входной трансформатор 1 : 10; *Тр*-2—выходной трансформатор 3 : 1; C_1 = 200 *мкмкф*, C_2 = 300 *мкф*; C_3 = 1 100 *мкмкф*; C_4 = 50 000 *мкмкф*; C_5 = 20 *мкф*; C_6 = 10 000 *мкмкф*; C_7 = 1 000 *мкмкф*; C_8 = 3 000 *мкмкф*; C_9 = 0,1 *мкф*; C_{10} = 0,1 *мкф*; C_{11} = 1 000 *мкмкф*; C_{12} = 200 *мкмкф*; C_{13} = 100 *мкмкф*; C_{14} = 1[illegible]0 *мкмкф*; C_{15} = 1 000 *мкмкф*; C_{16} = 550 *мкмкф*. R_1 = 100 000 *ом*; R_2 = 150 000 *ом*; R_3 = 10 000 *ом*; R_4 = 1 000 *ом*; R_5 = 500 *ом*; R_6 = 47 *ом*; R_7 = 4,25 *ом*; R_8 = 40 *ом*; R_9 = 1 *мгом*; R_{10} = 1 000 *ом*; R_{11} = 200 *ом*; R_{12} = 1 000 *ом*; R_{13} = 10 000 *ом*; R_{14} = 3 *мгом*; R_{15} = 1 000 *ом*; R_{16} = 1 000 *ом*; R_{17} = 1 *мгом*; K_1 — контур, настроенный на частоту 40 *кгц*; K_2 — контур, настроенный на частоту 100 *кгц*; L_1 = 2 *мгн*; L_2 = 500 *мгн*.

3. Генератор высокочастотного тока стирания на лампе 6П3Б, питающий стирающую головку.

Напряжение звуковой частоты (до 1,5 *в*) подводится к входным клеммам усилителя и через повышающий трансформатор 1 : 10 передается на цепь коррекции и регулятор усиления. Коррекция осуществлена в форме последовательного контура, шунтирующего сопротивление R_2 и настроенного на частоту 8—10 *кгц*. Все частоты, кроме резонансной, будут значительно ослабляться сопротивлением R_2, что и даст эффект выделения высоких частот. Регулировка сопротивления R_1 выведена на переднюю панель усилителя и меняет величину подъема, создаваемого коррекцией. Коррекция дает увеличение силы тока в обмотке записывающей головки до 10—12 *дб*, на частоте 8 000—10 000 *гц*. Наличие коррекции во входной цепи обязательно требует того, чтобы источник звукового напряжения, питающий усилитель записи (например, предварительный усилитель), имел малое выходное сопротивление, не более 50—100 *ом*. При большей величине в контур коррекции вносится столь большое затухание, что он почти перестает действовать. Выход усилителя низкой частоты — трансформаторный.

Генератор тока стирания построен по трехточечной схеме с индуктивной обратной связью. Частота генерируемых колебаний равна 30—40 *кгц*, контур намотан на магнетитовом сердечнике, вторичная обмотка его нагружена на стирающую головку. Для настройки цепи стирающей головки в резонанс служит конденсатор C_6. Подбирая величину его, мы добиваемся наибольшего тока стирания. При замене стирающей головки настройку проводят вновь, так как индуктивность новой (несточенной) головки больше, чем старой.

Генератор тока подмагничивания построен также по 3-точечной схеме на контуре с магнетитовым сердечником. Частота его изменяется в пределах 80—100 *кгц* как скачками, путем подсоединения к контуру различных конденсаторов постоянной емкости, так и плавно — конденсатором переменной емкости. Подстройка частоты ведется так, чтобы при записи не прослушивались биения между гармониками генератора тока стирания и генератора тока подмагничивания. При настройке аппарата требуется регулировать величину тока подмагничивания. Это осуществляется изменением экранного напряжения на лампу генератора, путем регулировки сопротивления R_{14}. Если ток недостаточен, следует закоротить сопротивление R_{13}.

Все регулировки генератора тока подмагничивания расположены на текстолитовой панели, сзади усилителя. Ток подмагничивания через конденсатор C_{16} подается в записывающую головку. Чтобы он не замыкался через выходной трансформатор усилителя низкой частоты, стоит фильтр-пробка L_1C_3, настроенный на частоту тока подмагничивания.

Усилитель записи имеет измерительный прибор, предназначенный для сравнительно грубых измерений токов звуковой частоты, стирания и подмагничивания. В цепях каждого из этих токов включены небольшие сопротивления (R_6, R_7, R_8), напряжения с которых коммутируются ключом на купроксный вольтметр. Показания последнего будут пропорциональны значениям соответствующих токов. Положения ключа измерительного прибора следующие:

1-ое — измерение тока звуковой частоты
2-ое — „ „ подмагничивания
3-е — „ „ стирания

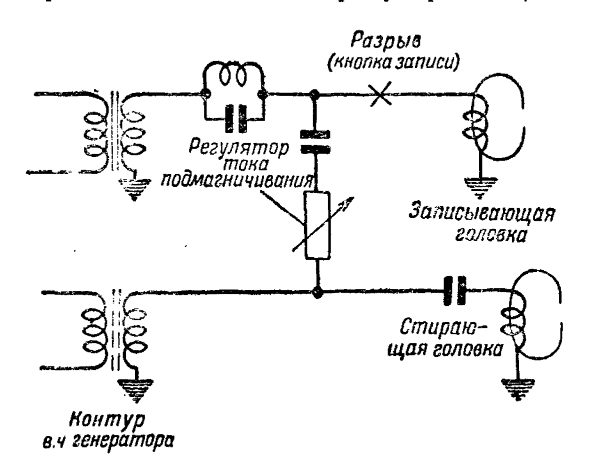
Следует иметь в виду, что прибор, находящийся на панели усилителя записи, показывает величину токов, исходящих из панели. Но это не обязательно токи, протекающие через обмотки соответствующих головок. Значительная разница существует для высокочастотных токов—стирания и подмагничивания, так как часть этих токов, выйдя из панели усилителя записи, замыкается через собственную емкость соединяющего кабеля и не доходит до головок. Как правило, величина в. ч. токов в обмотках головок меньше соответствующих показаний прибора. Поэтому, если нас интересует истинная величина этих токов, измерение надо производить отдельным прибором непосредственно около головок. Кроме того, монтаж желательно вести таким образом, чтобы избежать по возможности больших утечек высокочастотных токов. Для этого сокращают длину проводов и применяют малоемкостный кабель.

Усилитель требует следующее электропитание:

Анодные цепи —100 *ма* при напряжении 285 *в*
Накальные цепи—2,3 *а* при напряжении 6,3 *в* (переменное)

Записывающая головка подсоединяется через контакты, расположенные в ходовом механизме под кнопкой «запись» (см. схему ходового механизма, фиг. 79). Под этой же кнопкой располагаются и контакты, включающие анодное напряжение на усилитель записи. Благодаря надлежащему устрой-

ству этих контактов, нажимая кнопку «запись», мы сначала включаем анодное напряжение на усилитель записи, потом подсоединяем к выходу этого усилителя записывающую головку и после этого включаем напряжение на электродвигатели ходового механизма. Наличие такой последовательности очень важно, так как предохраняет записывающую головку от импульса напряжения, возникающего на выходе усилителя низкой частоты в момент включения анодного напряжения. Такой импульс мог бы вызвать намагничивание записывающей головки, которое нежелательно по ряду причин (см. главу 2).



Фиг. 75.

Таким образом, анодное питание включается на усилитель записи только при нажатии кнопки записи на ходовом механизме. Питание накала включено постоянно.

Остановимся, в заключение, на недостатках усилителя записи.

1. Наличие двух высокочастотных генераторов создает большое эксплоатационное неудобство: прогреваясь, оба генератора меняют свою частоту и, сближаясь, создают слышимые частоты биений, которые в виде свиста накладываются на запись. Приходится часто подстраивать схему. Можно было бы обойтись одним высокочастотным генератором с частотой примерно 50—70 *кгц*, питающим как стирающую, так и записывающую головки. Одна из возможных при этом схем включений головок показана на фиг. 75.

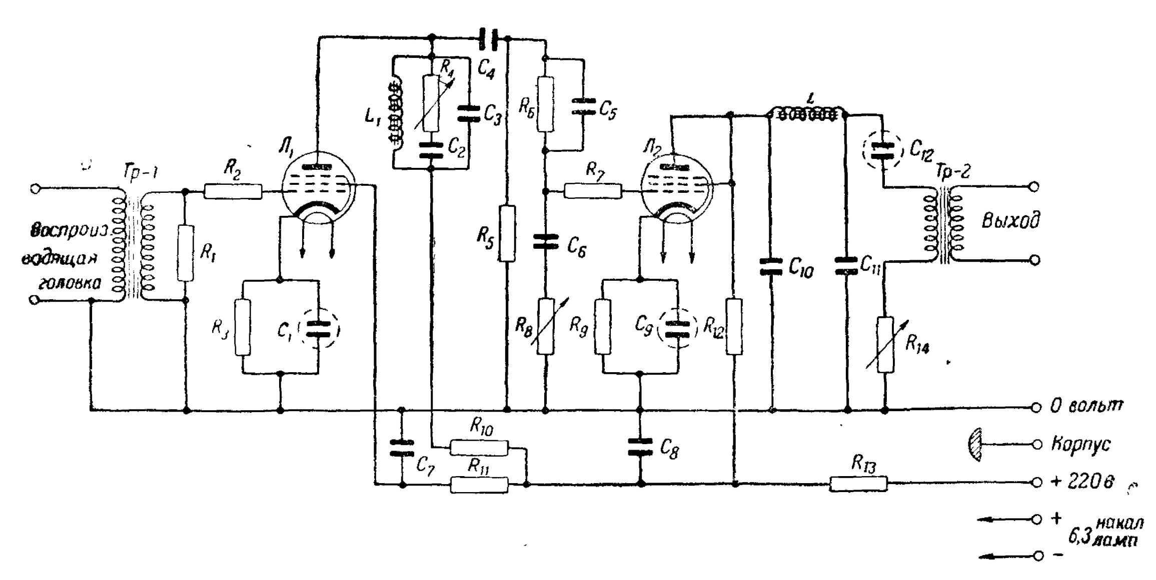
2. В качестве усилителя низкой частоты в схеме применен оконечный пентод 6П6Б, работающий в режиме класса А. Ток покоя этой лампы составляет 50 *ма*; полезная мощность, которую можно получить, измеряется ваттами. Мощность же, потребляемая записывающей головкой и необходимая ей для нормальной работы, всего лишь примерно 1 *мвт*! Таким образом, примененная мощная лампа не используется и в тысячной доле! Ее можно было бы заменить даже такой маломощной лампой, как 6С5Б, резко сократив при этом потребление усилителем записи тока от источника анодного питания, облегчив тем самым существенно его выполнение.

3. Регулировка тока и частоты подмагничивания неудобно выведена на заднюю панель. Такую регулировку было бы целесообразно расположить спереди. Подстройку частоты удобнее вести магнетитовым сердечником, а не переменным конденсатором, как это сделано в данной схеме.

Б. Усилитель воспроизведения. Усилитель воспроизведения является 2-каскадным предварительным усилителем на лампах 6Ж7Б. Схема его показана на фиг. 76. Напряжение от воспроизводящей головки подводится хорошо экранированным кабелем к первичной обмотке входного трансформатора, коэффициент трансформации которого равен 1 : 62. Далее следует первый каскад с коррекцией в анодной цепи. Корректирующими элементами являются: контур L_1, C_3, R_4, настроенный на частоту 9—10 *кгц*, и ячейки RC, R_6C_5 и C_6R_8. Сопротивления R_4 и R_8 сделаны переменными и выведены одно на переднюю, другое на заднюю панель усилителя. Регулируя их, мы можем получить необходимую частотную характеристику усилителя.

Подстройка производится в процессе эксплоатации по мере истирания воспроизводящей головки, а также при замене ее новой.

Второй каскад усиления использует лампу 6Ж7Б в триодном соединении. В анодной цепи ее включен фильтр, срезающий все частоты выше 15 *кгц* для предотвращения проникновения комбинационных токов биений между высокочастотными генераторами из усилителя записи в канал воспроизведения. Наличие этого фильтра не является строго обязательным. Выход усилителя трансформаторный — через разделительный конденсатор C_{12}. Выходной трансформатор 7 : 1 рассчитан на нагрузку 200 *ом*. Регулировка усиления выведена на переднюю панель и производится реостатом R_{14} в первичной обмотке выходного трансформатора. Коэффициент усиления усилителя



Фиг. 76.

$Л_1$, $Л_2$ — лампы 6Ж7Б; *Тр*-1 — входной трансформатор 1 : 62,5; *Тр*-2 — выходной трансформатор 7 : 1; C_1 = 300 *мкф*; C_2 = 0,5 *мкф*; C_3=200 *мкмкф*; C_4 =0,1 *мкф*; C_5 = 50 *мкмкф*; C_6 = 10 000 *мкмкф*; C_7 = 2 *мкф*; C_8 = 2 *мкф*; C_9 = 300 *мкф*; C_{10} = 2 000 *мкф*; C_{11} = 2 000 *мкмкф*; C_{12} = 16 *мкф*; L_1 = 0,2 *гн*; L_2 — 130 *мгн*; R_1 = 0,5 *мгом*; R_2 = 1 000 *ом*; R_3-1 200 *ом* (примерно); R_4 = 0,5 *мгнм*; R_5 — 1 *мгом*; R_6 = 0,5 *мгом*; R_7 = 1 000 *ом*; R_8 = 40 000 *ом*; R_9 = 1 200 *ом* (примерно); R_{10} = 50 000 *ом*; R_{11} = 0,2 *мгом*; R_{13} = 10 000 *ом*; R_{14} = 20 000 *ом*.

на средних частотах колеблется от 1 000 до 2 000. Питание усилитель получает от того же выпрямителя, что и усилитель записи. Во избежание фона накал нитей ламп производится выпрямленным током.

В усилителе воспроизведения, как и обычно в усилителях малых напряжений, должно соблюдаться правило выполнения заземлений. Все детали, соединяемые по схеме с землей, ни в коем случае не присоединяются к корпусу, а подпаиваются на общий провод, изолированный от корпуса. Этот провод выводится на отдельную клемму «О вольт», корпус на свою клемму — «корпус». При сборке аппарата клеммы «О вольт» отдельных панелей соединяются между собой и образуют линию нулевого потенциала. Все «корпуса» также соединяются между собой, и в одной точке (обычно около выпрямителя питания) линия нулевого потенциала соединяется с линией «корпусов» и заземляется. Нарушение указанного порядка может вызвать появление наводок на схему в виде фона, тресков и т. д.

Поскольку величина входного напряжения усилителя очень мала (примерно 100 *мкв*), усилитель очень чувствителен к пульсации анодного и накального напряжений, а также к наводкам на входной трансформатор. Поэтому большое внимание обращается на хорошую экранировку входных деталей, а также на надлежащую фильтрацию в цепях питания.

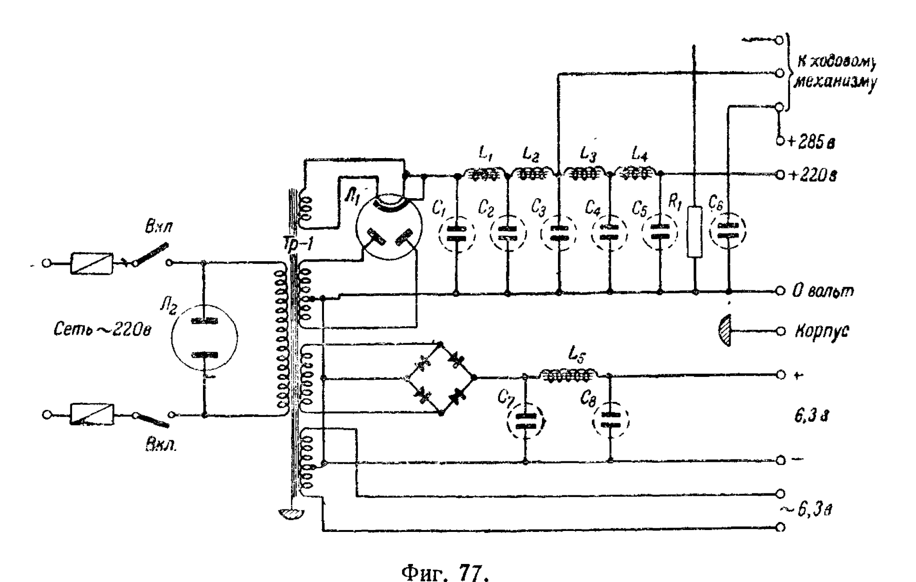
Рационально ли построена данная схема усилителя воспроизведения и что в ней можно улучшить?

Во-первых, следует сказать, что если не предъявляются специальные требования, нецелесообразно делать после 2-го каскада низкоомный выход, так как при этом сильно уменьшается усиление. Можно было бы во 2-м каскаде также применить пентодное включение и далее перейти по схеме усилителя на сопротивлениях на 3-й каскад уже оконечного типа. В том же варианте схемы, которая была приведена на фиг. 76, для оконечного усиления потребуется еще минимум 2 лампы.

Во-вторых, примененная схема коррекции недостаточно совершенна. По всей вероятности, более удобной и дающей больший диапазон регулировки была бы схема с обратной связью.

В. Выпрямитель питания. Схема выпрямителя приведена на фиг. 77. Как видно, выпрямитель состоит из двух частей: кенотронного выпрямителя на лампе 5ВХ1 для питания анодных цепей и купроксного выпрямителя для питания на-

кальных цепей. Силовой трансформатор общий для обоих выпрямителей. Схема не содержит каких-либо особенностей; бросается лишь в глаза мощная фильтровая группа кенотронного выпрямителя, состоящая из 4-х ячеек. После 2-й ячейки постоянное напряжение 285 *в* подается на усилитель записи,



Фиг. 77.

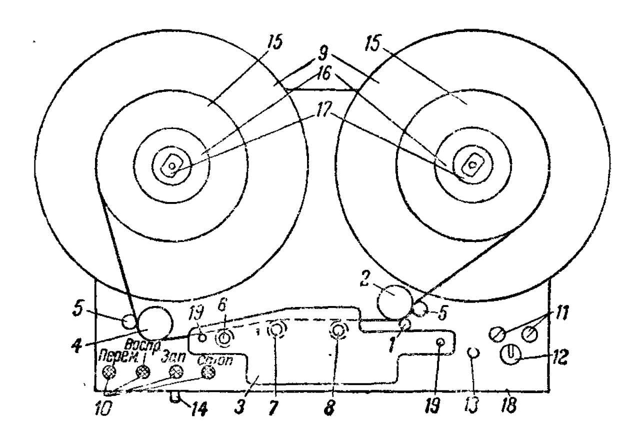
$Л_1$ — кенотрон 5ВХ1; $Л_2$ — неоновая сигнальная лампа; *Тр*-1 — силовой трансформатор; C_1 = 16 *мкф*, 500 *в*; C_2 = 16 *мкф*, 500 *в*; C_3 = 8 *мкф*, 450 *в*; C_4 = 16 *мкф*, 250 *в*; C_5 = 16 *мкф* — 250 *в*; C_6 = 8 *мкф*, 450 *в*; C_7 = 100 *мкф*, 25 *в*; C_8 = 200 *мкф*, 10 *в*. L_1 = 10 *гн*; L_2 = 10 *гн*; L_3 = 50 *гн*; L_4 = 10 *гн*; L_5 = 0,6 *гн*; R_1 = 3 500 *ом*.

а после 4-й ячейки еще более отфильтрованное напряжение 220 *в* подается на усилитель воспроизведения. Как говорилось ранее, в целях борьбы с наводками в схеме выведена точка нулевого потенциала. Так как анодное питание включается на усилитель записи только в момент записи, в схеме выпрямителя предусмотрен эквивалент нагрузки (сопротивление 13), который подсоединяется к напряжению 285 *в* в момент, когда запись не ведется.

Переключение линии +285 *в* на усилитель записи или на эквивалент производится контактной группой *abc*, расположенной под кнопкой записи на ходовом механизме.

Кенотронный выпрямитель находится в тяжелых условиях работы, так как нагружен большим анодным током усили-

теля записи. Можно в значительной степени упростить фильтр, если уменьшить величину этого тока. Мероприятия, направленные к этому, были указаны выше.



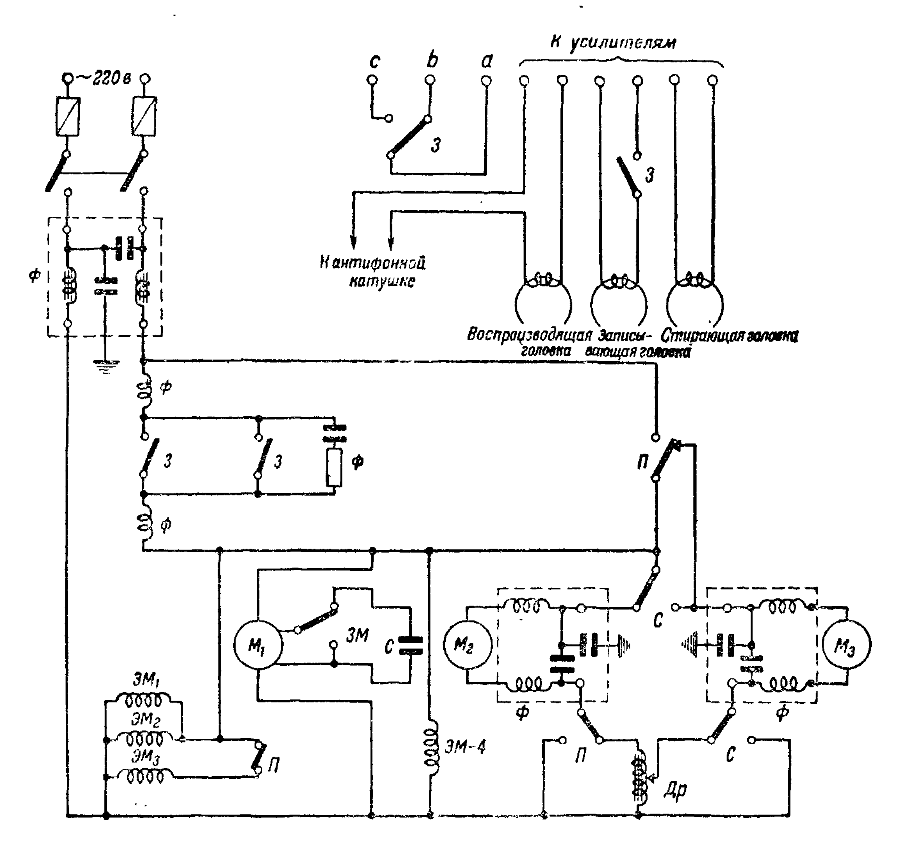
Фиг. 78. Ходовый механизм (вид сверху).

1 — насадка на оси тонмотора; *2* — резиновый прижимной ролик; *3* — корпус блока головок; *4* — направляющий ролик с маховиком; *5* — направляющие ролики; *6* — стирающая головка; *7* — записывающая головка; *8* — воспроизводящая головка; *9* — кассеты для пленки; *10* — клавиатура управления аппаратом; *11* — предохранители; *12* — выключатели; *13* — кнопка „замедление"; *14* — арретир кнопки „запись"; *15* — магнитная пленка; *16* — бобышки для намотки пленки; *17* — замки крепления бобышек; *18* — верхняя плита аппарата; *19* — винты крепления блока головок.

Г. Ходовый механизм. Ходовый механизм (фиг. 78, 79) предназначен для протягивания магнитной пленки при записи и воспроизведении и для обратной перемотки ее. Магнитная пленка применяется стандартная, типа Л, С или Т. Скорость рабочего хода пленки равна 77 *см/сек*. Скорость обратного хода (при перемотке) в 5—8 раз больше.

На верхней панели ходового механизма (фиг. 78) смонтированы 3 электродвигателя: 2 коллекторных (правый и левый) и средний — короткозамкнутый. Рабочий ход пленки осуществляется за счет действия короткозамкнутого электродвигателя (так называемого тонмотора), к оси которого пленка прижимается резиновым роликом, коллекторные же электродвигатели предназначены лишь для сматывания пленки. Намотка пленки ведется на правую кассету, сидящую на оси правого электродвигателя. Количество оборотов этого электродвигателя на холостом ходу ограничено величиной 800 об/мин при помощи центробежного регулятора. При про-

тягивании пленки на рабочем ходу он все время работает в заторможенном режиме, так как его линейная скорость не может быть больше скорости пленки. Электродвигатель приемной кассеты держит в натянутом состоянии пленку на участке ведущий электродвигатель — правый электродвигатель.



Фиг. 79.

M_1 — короткозамкнутый электродвигатель (тонмотор), 1500 об/мин, 100 *вт*; M_2 — левый коллекторный электродвигатель; M_3 — правый коллекторный электродвигатель $C = 2$ *мкф* — фазирующий конденсатор в пусковой обмотке; *Др* — дроссель, ограничивающий напряжение; $ЭМ_1$, $ЭМ_2$, $ЭММ_4$ — электромагниты тормозов электродвигателей; $ЭМ_3$ — электромагнит прижимного ролика; *З* — контакты, расположенные под кнопкой „запись“: *В* — контакты, расположенные под кнопкой „воспроизведение“; *С* — контакты, расположенные под кнопкой „стоп“; *П* — контакты, расположенные под кнопкой „перемотка“; *ЗМ* — контакты, расположенные под кнопкой „замедление“. Все контакты показаны в нерабочем положении, т. е. при ненажатых кнопках.

Сматывается пленка с левой кассеты, сидящей на оси левого электродвигателя, аналогичного правому. Направление вращения его противоположно рабочему ходу пленки и, таким образом, тормозит его. Так как при записи и воспроизведении, т. е. при рабочем ходе пленки, напряжение на левом электродвигателе понижено (70 *в*), то это тормозное действие не меняет в конечном счете скорость пленки и только создает ее натяжение на участке левый электродвигатель — ведущий электродвигатель. Такое общее натяжение пленки по всему фильмовому каналу совершенно небходимо при той большой скорости, какая имеет здесь место, так как иначе неизбежно набегали бы петли пленки, намотка была бы неровной и неплотной.

При обратной перемотке на левый электродвигатель подается полное напряжение, с правого электродвигателя напряжение снимается; средний электродвигатель в работе не участвует, так как резиновый ролик не прижимает к его оси пленку. Обратная перемотка осуществляется нажатием кнопки «Перемотка».

При одновременном нажатии двух кнопок «Стоп» и «Перемотка» в схеме происходит такое соединение, при котором на правый электродвигатель подается полное напряжение, а с левого оно снимается. В этом случае происходит быстрая перемотка пленки в прямом направлении.

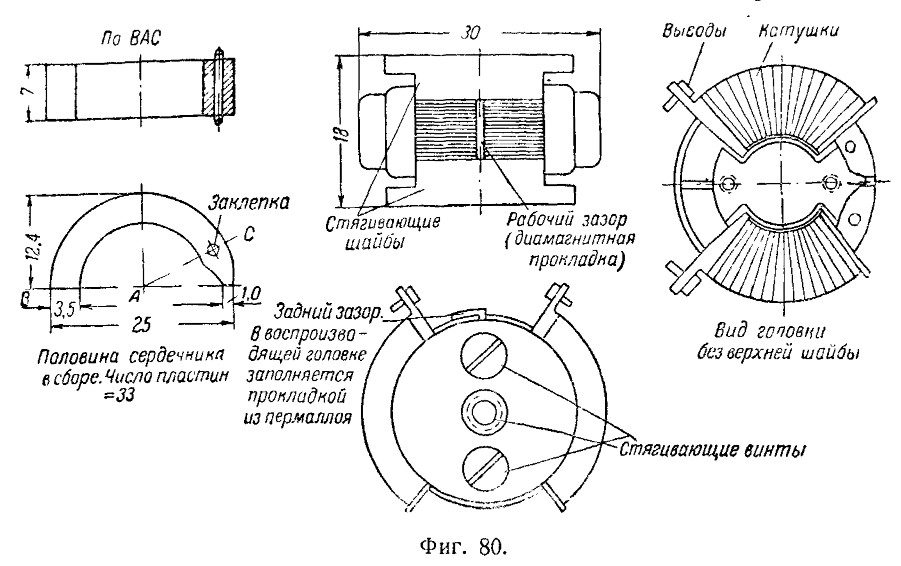
При обоих ускоренных ходах пленки натяжение ее, необходимое для получения плотной намотки, происходит за счет действия центробежного регулятора электродвигателя, не получающего в это время электропитания.

Все три электродвигателя снабжены ленточными тормозами, производящими моментальную их остановку. Благодаря этому при включении и выключении ходового механизма не набегают петли и не рвется пленка.

Управляют тормозами электромагниты, получающие электропитание (220 *в*) при нажатии кнопок управления ходового механизма. При срабатывании электромагнитов тормоза оттягиваются и освобождают электродвигатели. Торможение происходит при обесточивании тормозных электромагнитов Резиновый ролик, прижимающий пленку к оси мотора, располагается на поворотном рычаге, который связан с 4-м электромагнитом.

Таким образом, клавиатура управления ходовым механизмом производит только электрические переключения (фиг. 79). Она содержит 4 кнопки «Перемотка», «Запись», «Воспроиз-

ведение» и «Стоп». Все кнопки (кроме кнопки «Стоп») снабжены фиксаторами. Нажатие одной какой-либо кнопки возвращает остальные в исходное положение. Чтобы избежать случайного нажатия кнопки записи и неизбежного при этом



Фиг. 80.

размагничивания куска пленки, эта кнопка снабжена аретиром, выведенным в виде кнопки на боковую сторону верхней платы. Без нажатия ее нельзя нажать и кнопку записи.

Выведенная отдельно с правой стороны верхней панели кнопка «Заземление» предназначена для синхронизации работы двух магнитофонных аппаратов. При нажатии ее уменьшается число оборотов ведущего мотора и пленка замедляет ход.

Весь механизм изготовлен и собран с большой точностью. Дефект в ходовом механизме создаст искажения звука, рассмотренные ранее. Особое внимание следует обратить на отсутствие биения у стальной насадки на оси тонмотора и резинового прижимного ролика.

Для сглаживания небольших колебаний скорости пленки слева от блока головок расположен ролик, сидящий на одной оси с маховиком.

Д. Блок головок. Блок головок показан на фиг. 78, 80. В направлении движения пленки располагаются друг за дру-

гом стирающая, записывающая и воспроизводящая головки. Смонтированы они на общем литом корпусе, вместе с которым легко снимаются с ходового механизма. Это удобно при замене и ремонте отдельных головок. Каждая головка заключена в отдельный экран. Особенно хорошо заэкранирована воспроизводящая головка.

Сердечники головок выполнены в форме кольца, набранного из высококачественного листового пермаллоя. Кольцо состоит из двух полуколец, тесно соприкасающихся с одной стороны и разделенных прокладкой из фосфористой бронзы с другой. Сторона, на которой находится диамагнитная прокладка, является рабочей и к ней прилегает при своем движении пленка. На каждой половине сердечника (полукольце) находится половина числа витков данной головки. Ниже приводятся данные отдельных головок:

Стирающая головка:

Ширина рабочего зазора	0,5 *мм*
Число витков	2×75
Индуктивность	2 *мг*
Высокочастотный ток стирания	120—150 *ма*

Записывающая головка:

Ширина рабочего зазора	45 μ
С обратной стороны находится дополнительный воздушный зазор	0,3 *мм*
Число витков	2×150
Индуктивность	5—7 *мг*
Высокочастотный ток подмагничивания примерно	10 *ма*
Максимальный ток звуковой частоты	5 *ма*

Воспроизводящая головка:

Ширина щели	20 μ
Число витков	2×250
Индуктивность	55—80 *мг*

Следует обратить внимание на следующие особенности в расположении головок:

1. Рабочий зазор каждой головки должен быть перпендикулярен направлению движения ленты. Точная установка производится по воспроизведению и записи высоких звуковых частот (см. главу 2).

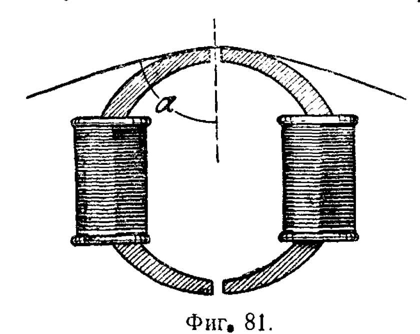
2. Рабочий зазор каждой головки должен находиться в середине угла огибания головки пленкой (фиг. 81).

3. Экранирующие кожухи головок не должны мешать движению пленки.

4. Высота отдельных головок должна быть так отрегулирована, чтобы пленка хорошо прилегала ко всей рабочей поверхности каждой головки.

5. Экран воспроизводящей головки должен быть установлен по минимуму наводок с ходового механизма.

Конструкция головок и размеры видны из фиг. 80. Оба полукольца, составляющие сердечник, склепываются никелевыми заклепками и стягиваются между двумя массивными медными шайбами.



Фиг. 81.

Края полуколец, составляющие рабочую сторону головки в собранном виде, тщательно шлифуются на камне. Края рабочего зазора должны получаться ровными и без заусениц.

После всех этих операций головка разбирается и оба полукольца сердечника отжигаются при температуре примерно 700° с последующим медленным остыванием. При последующей окончательной сборке головки разрешается лишь самая незначительная механическая обработка рабочей стороны.

Для обмотки головки изготавливается каркас из прессшпана или текстолита. В крайнем случае можно накладывать обмотку непосредственно на сердечник, изолировав его бумагой, проклеенной бакелитовым лаком.

ЛИТЕРАУТРА ПО МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ ЗВУКА

1. Харкевич А. А., Обзор. Магнитная запись звука, ЖТФ, 1943 т. XIII.
2. Рабинович И. С., Магнитная запись звука, „Радио", 1947 г., № 10, 12.
3. Фурдуев В. В., Электроакустика, Гостехиздат, 1948 г., гл. IX. Запись и воспроизведение звука.
4. Корольков В. Г., Звукозаписывающая аппаратура на 7-й заочной радиовыставке, „Радио", 1948 г., № 9.
5. Дыскин Э., „Радио," 1948 г., № 11, МАГ-4.
6. Дроздов К. И., „Радио", 1949 г., № 1, МАГ 2А.

перевода относительных изменений токов и напряжений в децибеллы

или	— *дб* +	Отношение токов или напряжений
	0	1,00
	0,1	1,01
	0,5	1,06
	1,0	1,12
	1,5	1,19
	2,0	1,26
	3,0	1,41
	4,0	1,58
	5,0	1,78
	6,0	1,99
	10,0	3,16
	20	10,0
	30	31,6
	40	100
	50	316
	100	100 000

анные динамических громкоговорителей

	Диаметр диффузора, *мм*	Сопротивление звуковой катушки, *ом*	Полоса пропускания, *гц*	Неравномерность частотной характеристики, *дб*	Чувствительность, *бар/ва* на расстоянии 1 *м*	Коэффициент нелинейных искажений, %
5	150	4	150—5 000	15	15	
35	75	4,3	200—5 000	18	—	Не более 7
	200	—	100—6 000	6	25	
5	220	2	150—6 000	20	23	
5	—	2,1	100—6 000	16	20	Не более 3